

**Estudio geomecánico para las minas Esperanza y Zarzal pertenecientes a la concesión
minera fiu-151, municipio de Gameza, Boyacá.**

**Alex Fernando Becerra Ramírez
Edwin Yamid Castillo Riapira**

**Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Facultad Seccional Sogamoso
Escuela de Ingeniería Geológica**

2017

**Estudio geomecánico para las minas Esperanza y Zarzal pertenecientes a la concesión
minera fiu-151, municipio de Gameza, Boyacá.**

**Alex Fernando Becerra Ramírez
Edwin Yamid Castillo Riapira**

**Proyecto presentado para optar por el título de
INGENIERO GEOLOGO**

**Director:
Nebardo Arturo Abril González
Ingeniero Civil
Magister en Geotecnia**

**Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Facultad Seccional Sogamoso
Escuela de Ingeniería Geológica**

2017

Agradecimientos

Agradecer en primera instancia a Dios, por permitirnos alcanzar este logro y habernos dado las capacidades necesarias para alcanzar los objetivos a lo largo de la carrera y durante este proyecto.

Al ingeniero Nebardo Arturo Abril, por ser maestro Director del proyecto, por su gran apoyo desde sus inicios, y por ser una guía en las diferentes etapas de este, donde nos guio y corrigió en el momento pertinente de una forma amable y respetuosa.

Un reconocimiento para el ingeniero Rafael Pérez Espitia por su ayuda en la etapa de preparación de las muestras para los diferentes ensayos realizados en este proyecto, así como una guía para ejecución de estos.

Para el ingeniero Oscar Orozco un agradecimiento especial, quien es el representante legal de la concesión FIU-151, por depositar la confianza en nosotros para la ejecución de este proyecto y apoyarnos desde el comienzo, abriéndonos la puerta de su empresa y además de estar pendiente de nosotros en los días de labor en la misma.

A la Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, a la escuela de Ingeniería Geológica, al equipo de profesores quienes nos brindaron sus conocimientos y fueron guías durante nuestra carrera para así formarnos como profesionales integrales y comprometidos.

Para nuestros padres que nos han servido como guía, ejemplo y soporte en toda una vida de aprendizaje, quienes a pesar de las circunstancias nunca dejaron de creer en nosotros y siempre nos han apoyado de una manera incondicional.

Agradecemos a los diferentes familiares, amigos y personas que de una manera u otra contribuyeron para que esta etapa de nuestras vidas logre terminar de una manera satisfactoria.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1 _____	16
Introducción e información general del proyecto _____	16
Planteamiento del problema de estudio _____	17
Objetivos _____	19
Objetivo general _____	19
Objetivos específicos _____	19
Generalidades _____	20
Localización _____	20
Vías de acceso _____	21
Metodología De Trabajo _____	22
Metodología Geológica. _____	22
Metodología geología local. _____	22
Metodología geología a detalle. _____	24
Metodología geotécnica. _____	24
Generalidades. _____	25
Toma de datos en campo. _____	26
Condición de las discontinuidades. _____	27
Clasificación Geomecánica _____	29
Exploración y muestreo. _____	31
Metodología de modelo 2D geológico– geotécnico _____	32
Metodología espaciado optimo entre sostenimiento _____	33
Toma de datos _____	33
Calculo espaciado óptimo de sostenimiento _____	35
Capítulo 2 _____	36
Geología _____	36
Geología Regional _____	36
Anticlinal de San Antonio. _____	36

Falla la puerta _____	37
Geología local _____	37
Cuaternario Coluvial (Qc)_____	37
Formación arenisca de Socha (Pgars) _____	38
Formación guaduas (Kpgg)_____	39
Fallas locales _____	39
Geología a detalle _____	42
Geología mina zarzal. _____	42
Sección estratigráfica tipo. _____	42
Fallas mina zarzal. _____	45
Geología parte media. _____	45
Geología mina esperanza _____	46
Sección estratigráfica tipo _____	46
Fallas mina esperanza _____	49
Capítulo 3 _____	52
Geotecnia _____	52
Ensayos de laboratorios _____	52
Ensayo propiedades físicas. _____	52
Resultados _____	53
Interpretación. _____	56
Ensayo durabilidad y desleimiento. _____	56
Resultados _____	58
Interpretación. _____	59
Ensayo uniaxial o de compresión simple. _____	59
Generalidades. _____	59
Resultados. _____	62
Interpretacion. _____	65
Ensayo velocidad sónica. _____	65
Generalidades. _____	65
Resultados. _____	67

Interpretacion _____	68
Caracterización geotécnica del macizo rocoso. _____	69
Discontinuidades. _____	69
Características de discontinuidades locales _____	69
Orientación _____	70
Espaciado _____	71
Continuidad. _____	73
Rugosidad _____	75
Abertura _____	76
Filtraciones _____	77
Alteracion _____	79
Analisis estereografico. _____	80
Clasificación de familias. _____	81
Tipo de falla _____	83
Interpretación _____	84
Clasificación geomecanica RMR _____	85
RQD _____	86
Clasificación RMR mina Zarzal _____	88
Clasificación RMR mina Esperanza _____	90
Capítulo 6 _____	93
Modelo Geológico-Geotécnico _____	93
Modelamiento 2d mina zarzal _____	94
Análisis de los resultados _____	112
Capítulo 5 _____	114
Espaciado óptimo entre sostenimiento _____	114
Generalidades _____	114
Requerimientos mínimos de sostenimiento. _____	114
Requerimientos de producción. _____	114
Materiales de sostenimiento. _____	115

Madera en la minería de carbón. _____	115
Sostenimiento actual en las minas Esperanza y Zarzal _____	115
Sostenimiento trapezoidal en minas esperanza y zarzal _____	117
Madera implementada en las minas zarzal y esperanza _____	118
Calculo espesor óptimo entre sostenimientos _____	119
Calculo carga en el techo _____	119
Calculo espaciado _____	121
Resultados. _____	122
Interpretación. _____	122
Capítulo 6 _____	124
Recomendaciones _____	124
Capítulo 7 _____	125
Conclusiones _____	125
Capítulo 8 _____	127
Referencias _____	127

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las minas Esperanza y Zarzal de la concesión FIU-151 _____	20
Tabla 2. Formato toma de datos en campo _____	26
Tabla 3. Ejemplo caracterización de discontinuidades _____	28
Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR _____	30
Tabla 5. Corrección por la orientación de discontinuidades RMR _____	31
Tabla 6. Datos muestras propiedades físicas _____	54
Tabla 7. Resultados propiedades físicas _____	55
Tabla 8. Resultados ensayo durabilidad y desleimiento _____	58
Tabla 9. Resultados ensayo compresión uniaxial _____	64
Tabla 10. Resultados ensayo ultrasonido _____	67
Tabla 11. Espaciado resultante _____	73
Tabla 12. Continuidad resultante _____	74
Tabla 13. Rugosidad establecida _____	76
Tabla 14. Abertura resultante. _____	77
Tabla 15. Filtración resultante _____	79
Tabla 16. Alteración establecida _____	80
Tabla 17. Ejemplo RQD _____	86
Tabla 18. Resultados RQD para los distintos materiales _____	86
Tabla 19. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989) _____	87
Tabla 20. Clasificación RMR limolita techo, mina zarzal _____	88
Tabla 21. Clasificación RMR carbón, mina zarzal _____	89
Tabla 22. Clasificación RMR Limolita base, mina zarzal _____	89
Tabla 23. Clasificación RMR limolita techo, mina esperanza _____	90
Tabla 24. Clasificación RMR carbón, mina esperanza _____	90
Tabla 25. Clasificación RMR limolita base, mina .esperanza _____	91
Tabla 26. Resultado clasificación RMR _____	91
Tabla 27. Esfuerzos permisibles del eucalipto _____	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Sección tipo mina Zarzal _____	44
Figura 2. Sección tipo de la mina esperanza_____	48
Figura 3. Columna estratigráfica concesión FIU-151_____	51
Figura 4 Orientación mina esperanza _____	70
Figura 5. Orientación mina zarzal_____	71
Figura 6.Espaciado mina esperanza _____	72
Figura 7.Espaciado mina zarzal _____	72
Figura 8.Continuidad mina esperanza_____	73
Figura 9.Continuidad mina esperanza_____	74
Figura 10.Rugosidad mina esperanza _____	75
Figura 11.Rugosidad mina zarzal _____	75
Figura 12.Abertura mina esperanza _____	76
Figura 13.Abertura mina zarzal _____	77
Figura 14.Filtración mina esperanza_____	78
Figura 15.Filtración mina esperanza_____	78
Figura 16.Alteración mina esperanza _____	79
Figura 17.Alteración mina zarzal _____	80
Figura 18.Diagrama de contornos y representaciones de familias, mina esperanza_____	81
Figura 19.Diagrama de contornos y representación de familias mina zarzal _____	82
Figura 20.Diagrama plano de falla mina esperanza _____	83
Figura 21.Diagrama plano de falla mina zarzal _____	84
Figura 22.Inclinado sección 1 mina zarzal _____	94
Figura 23.Inclinado sección 2 mina zarzal _____	95
Figura 24.Guía 1 norte mina zarzal_____	96
Figura 25.Guía 2 norte mina zarzal_____	97
Figura 26.Guía 2 norte, mina zarzal _____	98
Figura 27.Guía 1 sur, mina zarzal _____	98
Figura 28.Guía 2 sur, mina zarzal _____	100
Figura 29.Inclinado sección 1 mina esperanza. _____	101

Figura 30. Inclinado sector 2, mina esperanza_____	102
Figura 31. Inclinado sector 3, mina esperanza_____	103
Figura 32. Guía 1 norte, mina esperanza _____	104
Figura 33. Guía 2 norte mina esperanza _____	105
Figura 34. Guía 3 norte, mina esperanza _____	106
Figura 35. Guía 4 norte, mina esperanza _____	107
Figura 36. Guía 4 norte, mina esperanza _____	108
Figura 37. Guía 2 sur, mina esperanza_____	109
Figura 38. Guía 3 sur, mina esperanza _____	110
Figura 39. Guía 5 sur, mina esperanza_____	111
Figura 40. Diseño de método de explotación y machón de protección _____	116
Figura 41. Sostenimiento en tacos para los descuñes _____	116
Figura 42. Dimensiones marcos de madera _____	120
Figura 43. Ejemplo espesor óptimo de sostenimiento _____	121
Figura 44. Resultados espesor óptimo entre sostenimientos. _____	122

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización de las minas esperanza y zarzal _____	20
Ilustración 2. Vías de acceso a la concesión FIU-151 _____	21
Ilustración 3.Formato para recolección de información geológica _____	23
Ilustración 4. Formato para recolección de información geológica detalle _____	24
Ilustración 5. Cargas sobre un marco de madera según Protodyakonov _____	34
Ilustración 6. Modelo geológico local _____	41
Ilustración 7. Formato del ensayo de compresión simple _____	63
Ilustración 8.Modelación en el programa _____	66
Ilustración 11. Clasificación RMR concesión fiu-151 _____	113
Ilustración 10. Sostenimiento trapezoidal minas del estudio _____	117

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Entrada de mina zarzal _____	25
Imagen 2. Entrada mina esperanza _____	26
Imagen 3. .Preparación de muestras _____	32
Imagen 4. Toma de medidas _____	33
Imagen 5. Cuaternario _____	38
Imagen 6. formación areniscas de Socha _____	39
Imagen 7. Falla 6 Zarzal _____	40
Imagen 8. Preparación muestras de puño _____	53
Imagen 9. Peso seco de la muestra _____	53
Imagen 10. volumen y saturación de las muestras _____	53
Imagen 11. Pesado del material y tambor _____	57
Imagen 12. Proceso de rotación del tambor con fluido y muestra _____	57
Imagen 13. Secado y peso de los materiales _____	58
Imagen 14. Corte y preparación de muestras _____	60
Imagen 15. Muestras obtenidas y cortadas _____	60
Imagen 16. pesado, medición de dimensiones de los testigos _____	61
Imagen 17. Ubicación del testigo en la maquina _____	62
Imagen 18. Muestras falladas _____	62
Imagen 19. Realización ensayos de ultrasonido. _____	66
Imagen 20. Discontinuidades en las minas del estudio. _____	69
Imagen 21. Sostenimiento minas del estudio _____	117
Imagen 22. Sostenimiento - disposición trapezoidal del sostenimiento en las minas _____	118

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO GEOMECANICO PARA LAS MINAS ESPERANZA Y ZARZAL,
PERTENECIENTES A LA CONCESIÓN MINERA FIU-151, MUNICIPIO
DE GAMEZA, BOYACÁ

AUTOR(ES): BECERRA RAMIREZ, Alex Fernando
CASTILLO RIAPIRA, Edwin Yamid

La clasificación geomecánica es de gran importancia para poder determinar la calidad del macizo rocoso, todo esto permite establecer un patrón de comportamiento.

Se estudió el macizo rocoso de la concesión fiu-151 en las minas esperanza y zarzal.

Para esto se utilizó la clasificación RMR de Bieniawski (1989), que determina un valor y con este un comportamiento. Para llegar a estos resultados se hizo necesario realizar una etapa de recolección de información, que comprendió: registro geológico local, registro geológico a detalle, de la mano de una serie de información necesaria para la clasificación del macizo. Una segunda etapa que comprende la toma de muestras para cada mina de acuerdo a la geología, a fin de realizar una serie de ensayos de laboratorio. La siguiente etapa, comprende el análisis de la información recolectada; donde se definen las litologías para cada mina, diferentes dominios estructurales, características y condiciones de discontinuidades. Por último, se realiza con los datos recolectados para la clasificación geotécnica y la definición de las litologías, un proceso modelamiento 2D en donde se obtiene productos que incluyen; clasificación RMR cada 10m en las distintas labores mineras estudiadas, continuidad litológica y estructuras locales

Con el modelamiento realizado a escala 1:500, 1:250, 1:200 se identifica la calidad a detalle cada mina del estudio, con lo cual se genera un mapa de susceptibilidad donde se muestran las distintas zonas con su respectiva calidad del macizo, buena y regular.

ABSTRACT

TITLE: GEOMECHANICAL STUDY FOR MINES ESPERANZA Y ZARZAL,
BELONGING TO THE MINING CONCESSION FIU-151, MUNICIPALITY
OF GAMEZA, BOYACÁ

AUTHOR(S): BECERRA RAMIREZ, Alex Fernando
CASTILLO RIAPIRA, Edwin Yamid

The geological and mechanic classifications bring has great importance to be able to determine the quality of the rocky massif, all this allows to establish a pattern of behavior.

The rocky massif of the fiu-151 concession was studied in the Esperanza and Zarzal mines.

For this we used the RMR classification of Bieniawski (1989), which determines a value and with this a behavior. To reach these results, it was necessary to carry out a stage of data collection, which included: local geological record, detailed geological record, and a series of information necessary for the classification of the massif. A second stage simpling comprising to the geological perform for each mine according to geology, in order to perform a series of laboratory tests. The next stage includes the analysis of the information determinate; where the lithology's are defined for each mine, different structural domains, characteristics and discontinuity conditions. Finally, it is done with the data determinate for the geological and mechanic classification and the definition of the lithology's, a 2D modeling process in which products are obtained that include; RMR classification every 10m in the different mining works studied, lithological continuity and local structures. With the modeling carried out at a scale of 1:500, 1: 250, 1:200, the quality of each study mine is identified in detail, which generates a

susceptibility map showing the different zones with their respective quality of the massif, good and regular.

Capítulo 1

Introducción e información general del proyecto

Según el decreto 1886 del 2015 “Seguridad en las labores mineras subterráneas” del Ministerio de Minas y Energía, un estudio geomecánico del área en concesión permite a todo titular, explotador minero definir e implementar un plan de sostenimiento en la explotación, de la mano con lo aprobado en el programa de trabajo y obras del proyecto, ahí la importancia de la realización de este proyecto para las minas Esperanza y Zarzal de la concesión FIU-151 en donde no solo se obtiene el cumplimiento legal establecido por el decreto sino además se caracteriza el macizo a una escala en detalle según los aspectos geológicos y geotécnicos presentes en la zona de trabajo, con base en lo anterior un estudio geomecánico garantiza la estabilidad en las excavaciones, prolonga la vida útil del proyecto, optimiza recursos y por ende futuras operaciones en la concesión.

La concesión minera FIU-151 la cual comprende dentro de su régimen de explotación actual a las minas Esperanza y Zarzal, tiene como uno de sus pilares, contar con un estudio geomecánico; estudio que conduzca a establecer características locales y a detalle del macizo al cual actualmente se le realizan actividades de explotación minera, en este caso específico de carbón.

El presente estudio pretende dar soporte técnico a nuevas etapas de exploración y explotación. Para ello se centró en el desarrollo de distintas actividades, las cuales comprenden en primer lugar la recolección de información (geológica, geotécnica), suficiente para el desarrollo de la temática estudiada, a partir de estos insumos se realizó un manejo y procesamiento, mediante distintos software y también con la realización de ensayos de laboratorio, todo esto en conjunto permite definir aspectos geológicos y geotécnicos presentes en la zona de estudio, lo cual lleva a concluir parámetros que brinden información en la evaluación del macizo rocoso. Así se

determinó, fenómenos geológicos (litológicos, estructurales), resistencia y parámetros físicos, características de discontinuidades, modelos estereográficos, todos estos parámetros permiten conocer el comportamiento en general del macizo ante nuevas etapas de desarrollo en el mismo, además proporciona una recomendación al espaciado entre sostenimientos.

Planteamiento del problema de estudio

En el municipio de Gameza departamento de Boyacá, con altitud media de 2750 m.s.n.m una de las actividades más importantes es la minería del carbón.

Las minas Esperanza y Zarzal pertenecientes a la concesión minera FIU-151, no cuentan con un estudio geomecánico, este se hace necesario ya que no solamente cumple con los requisitos legales del decreto 1886 del Ministerio de Minas y Energía sino además conlleva a establecer el comportamiento del macizo rocoso, todo esto permite que el titular minero implemente un plan para nuevas etapas de exploración y explotación en las labores mineras.

Actualmente en la mina la esperanza se explota el manto de carbón 2, con un espesor promedio de 1.5 m, la forma de explotación y extracción del mineral se caracteriza por un inclinado principal, el cual es atravesado por 4 guías al norte y 5 al sur, las cuales se trazaron en sentido del rumbo, donde se tienen frentes de explotación por medio descuñes, comunicados por tambores en dirección perpendicular al rumbo. El sostenimiento se realiza mediante, un machón de protección; el cual básicamente es un sector de 20m que se encuentra a ambos lados del inclinado, en el cual no hay, ninguna extracción de carbón como se ve en la figura 1. También se utilizan ademes de madera con la finalidad de sostener las guías e inclinado, esta presentan forma trapezoidal, como se observa en la figura 3(las medidas varían de acuerdo al sector) las dimensiones en promedio son: la base menor va de 1.10-1.30 m, base mayor 2-

2.10m respectivamente y con una altura entre 1.5-2m, y el espaciado entre marcos de 1.50m, esto para las guías. Los descuñes, y tambores presentan un sostenimiento en un sistema de enmallado compuesto por una serie de columnas o tacos de madera los cuales se refuerzan con una tabla para evitar desprendimiento de material suelto por la extracción del carbón. (Figura 2)

La mina el zarzal se aprovecha el manto de carbón 4 con un espesor promedio de 1.10m aproximadamente, la forma de explotación se realiza por medio de un inclinado 220m, donde a través de este, encontramos dos niveles al sur a los 100m y 85m respectivamente y dos al norte a los 120m y 80m del inclinado, los cuales se comunican por medio de tambores, y que presentan frentes de explotación por medio de descuñes, el sostenimiento se realiza de la misma manera que en la mina la esperanza, aunque las dimensiones varían para los ademes : base menor 1.m, base mayor 2m y con una altura de 1.70m y un espaciamiento de 1.50 entre cada uno.

El presente estudio pretende dar soporte técnico a nuevas etapas de exploración y explotación mediante el cumplimiento legal del decreto 1886 y así establecer el comportamiento geomecánico del macizo rocoso que por ende facilita la prolongación de la vida útil del proyecto y optimiza nuevas etapas de explotación.

Objetivos

Objetivo general

Estudiar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso de las minas Esperanza y Zarzal pertenecientes a la concesión Minera FUI-151 en el Municipio de Gameza, vereda San Antonio para establecer la calidad del macizo y su aptitud en trabajos de sostenimiento.

Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar litológicamente el macizo rocoso
- ❖ Estudiar las discontinuidades en las minas Esperanza y Zarzal
- ❖ Hacer la caracterización física y mecánica de los distintos materiales mediante ensayos de laboratorio
- ❖ Clasificar del macizo rocoso aplicando la metodología de Bieniawski (1989)
- ❖ Recomendar el espaciamiento entre sostenimiento mediante la metodología de Protodyakonov

Generalidades

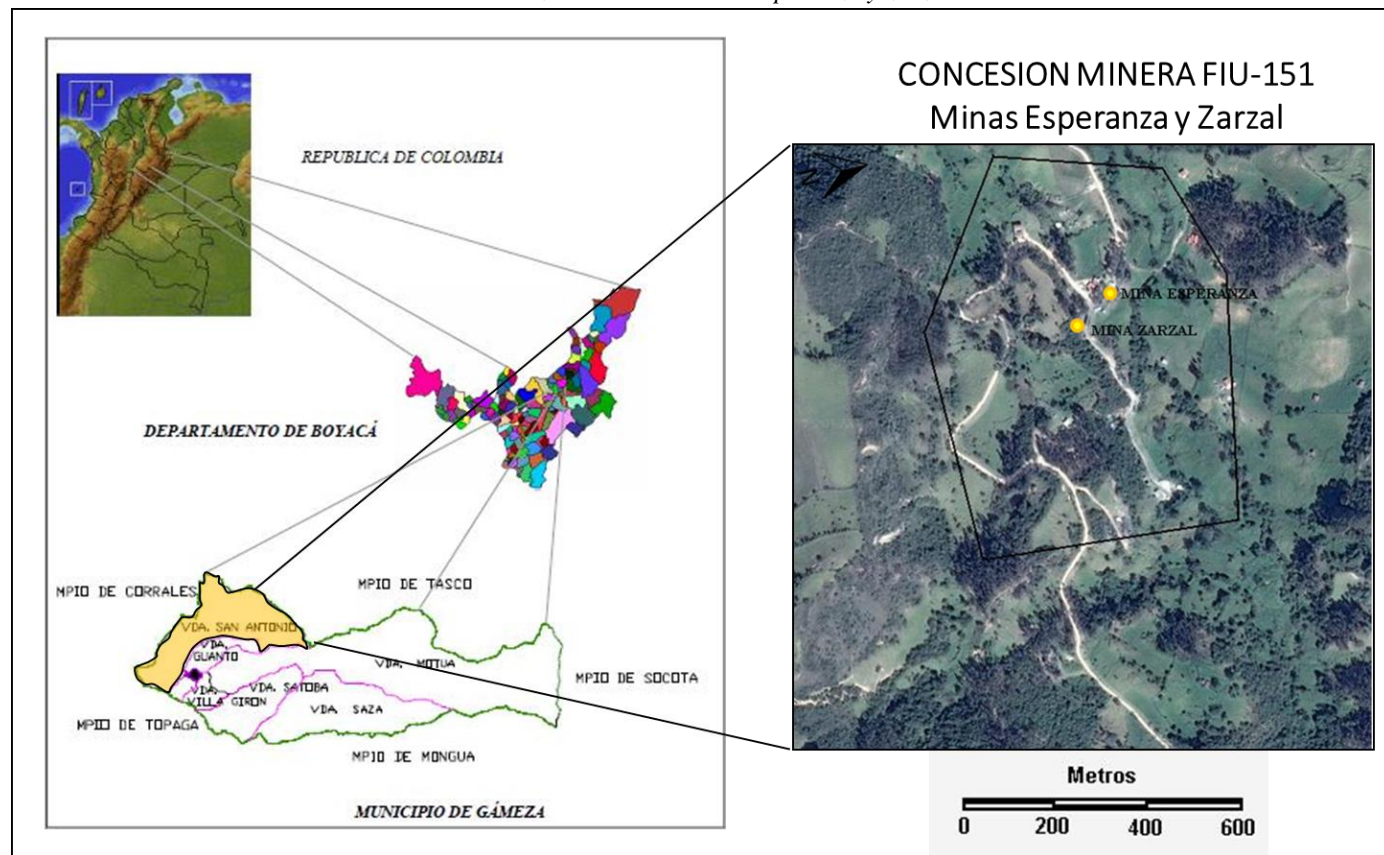
Localización

El estudio se realizó en el municipio de Gameza Boyacá, en la vereda de san Antonio, concesión minera FIU-151 en las minas Esperanza y Zarzal, ubicadas con las siguientes coordenadas:

Tabla 1. Coordenadas de las minas Esperanza y Zarzal de la concesión FIU-151

Mina	Norte	Este	Altitud
Esperanza	1143063	1137937	2882
zarzal	1143061	1137978	2891

Ilustración 1. Localización de las minas esperanza y zarzal



Vías de acceso

La explotación minera realizada en las minas Esperanza y Zarzal de la concesión minera FIU-151 se ubica en el municipio de Gameza (Boyacá), localizado a 17km de la ciudad de Sogamoso.

Para llegar al área de explotación se toma la vía que sale de Sogamoso y conduce para Corrales, se aparta a la derecha en el sector de puente Reyes hasta llegar al municipio de Gameza, allí, se conduce por la carrera 6, luego por la calle 6 la cual lleva a la salida del municipio, donde se continua (vía destapada) hacia la vereda San Antonio, la cual esta aproximadamente a 7 km del casco urbano, y donde se encuentra localizada la concesión FIU-151. La otra vía de acceso, se encuentra por la vía Sogamoso-Corrales-Tasco, a los 26.5km, en el sector canelas, se aparta a la derecha, luego se continua por una vía destapa cerca de 6km hasta el sector la virgen donde se aparta a la derecha y se continua hasta la localización geográfica Ver (tabla 1) que se encuentra a 10 km.

Ilustración 2. Vías de acceso a la concesión FIU-151



Metodología De Trabajo

En la ejecución de esta parte del trabajo se implementó una serie de etapas desarrolladas de una manera sistemática y acorde al proyecto, estas etapas se sintetizan en: análisis bibliográfico, reconocimiento geológico local y a detalle, muestreo y toma de datos de discontinuidades para así finalmente compilar todo esto en resultados como planos, tablas, documentos y demás anexos

Metodología Geológica.

Toma de datos a manera local en la concesión FIU-151 y a detalle en las minas Esperanza y Zarzal.

Metodología geología local.

En esta etapa se buscó identificar las formaciones presentes en el área de la concesión y en especial el reconocimiento de la formación guaduas (Kpgg), a manera de especificar y

reconocer el miembro de la formación Guaduas en cual se encuentran ubicadas las minas Esperanza y Zarzal , los resultados compilados son mostrados a escala 1:500.

Para la recolección de la información necesaria, se utilizó la metodología de descripción de rocas modificado de R.Compton 1985, que permita un buen procesamiento y desarrollo de los datos recolectados. El formato usado se observa en la siguiente ilustración.

Ilustración 3.Formato para recolección de información geológica

METODOLOGIA DE DESCRIPCION DE ROCAS							
FORMACION GUADUAS – VIA ZARZAL							
INFORMACIÓN GENERAL							
COORDENADAS	X=1143116		Y=1137890		Z=2904		
1. ESPESOR	1,5 m						
2. PRINCIPAL TIPO DE ROCA	Limolitas de color gris el cual se pueden observar concreciones de arena						
3. COMPOSICION	minerales		100%	cemento	%		
	Limo		86%	Silicio	8		
	Minerales de hierro		0%	Ferruginoso	2		
	Minerales arcillosos		2%				
4. TAMAÑO DE GRANO	Limo		UNIDAD				
5. COLOR FRESCO Y METEORIZADO			Ambiente	Relación	Modificación	Modo. Tectónica	Edad
Color fresco : Amarillo		Color meteorizado: Amarillo rojizo	lagunal/paludal		Compactación		Maastrichtiense
6.FRIABILIDAD:	Débil,poco friable						
7. DUREZA	Dura						
8. matriz:	Arcilla						
9. GRADO DE SELECCIÓN:	Bien seleccionado						
10. FORMA DE GRANOS:	Redondeados						
11. ORIENTACIÓN:	rumbo	N45E					
	Buzamiento	27SE					
12. FÓSILES:							
13.POROSIDAD:	Bajo						
14. ESPESOR DE LAS CAPAS	Laminación						
15.FORMA DE LA ESTRATIFICACIÓN:	Paralela continua						
16. ESTRUCTURAS PRIMARIAS:	Laminación						
17. CONTACTOS:	neto						
18. CARACTERÍSTICAS SECUNDARIAS:	Diaclasas						
19. EXPRESIÓN TOPOGRÁFICA:	Talud						
20.PALEOCORRIENTES:							

Guía Compton modificada (R., 1985), descripción litológica

Metodología geología a detalle.

La geología a detalle se realizó en las dos minas del estudio, en donde se identificó la continuidad de la litología y materiales presentes en cada una, así mismo se definió sectores donde la continuidad se pierde y establecer el motivo.

La recolección de esta información se realizó cada 10m dentro de cada mina, en las guías e inclinado, utilizando la guía R.Comtop modificada. Como se observa en la siguiente ilustración

Ilustración 4. Formato para recolección de información geológica detalle

NOMBRE		Mina Zarzal – chimenea										RUMBO/BUZAMIENTO:									
Información general		Espesor (cm)		Unidades		Descripción															
Formación <u>ktg</u>		680		Arcilla fisible		Arcillolita con abundante materia vegetal															
		70		Carbón 1		Carbón negro con brillo vítreo															
		170		Arcilla		Arcilla con contenido de materia vegetal															
Tamaño de grano		Color		Friabilidad	Dureza	Cemento			Selección					η y \square		Espesor de las capas					
Limo	arcilla	Fresco	Meteorizado			Tipo	%	matriz	1	2	3	4	5								
	x		Gris			Silicio		Arcillosa			x						Laminación delgada				
		Negro		Fuerte	Muy Dura																
	x	Negro	Gris	Débil, no friable	Moderadamente dura	Silicio		Arcillosa			x						Laminación delgada				
Forma de la estratificación		Estructuras primarias		Estructuras secundarias		Contacto		Expresión topográfica		Interpretación de la unidad											
										Ambiente		Relación		Modificación		Mo. Tectónicas		Edad geológica			
Plano paralela continua		Laminación Clivaje		Diaclasas		Neto		Lajas		Lagunar				Compactación		plegamiento		<u>maastrichtense</u>			
				Diaclasas		Neto		Escarpe		Lagunar				Compactación		plegamiento		<u>maastrichtense</u>			
Plano paralela continua		Laminación		Diaclasas Clivaje		Neto		Lajas		Lagunar				Compactación		plegamiento		<u>maastrichtense</u>			

Formato basado en guía de Comtop para geología a detalle

Metodología geotécnica.

La ejecución de esta parte del proyecto comprende la toma de datos a detalle realizada en cada una de las estaciones geomecánica en donde el objetivo era medir y obtener características

de discontinuidades, también realizar una serie de muestreo en las dos minas y a su vez de los materiales de techo, medio y base.

Generalidades.

La zona se dividió en las dos minas del estudio para facilitar la descripción y posterior tratamiento de datos.

Mina Zarzal: Se ubica por medio de la vía que conduce desde el casco urbano del municipio hasta la parte baja de la vereda San Antonio en límites con el municipio de Tasco. En la mina se encuentran las limolitas y carbón pertenecientes a la parte baja del miembro superior de la formación Guaduas.

Imagen 1. Entrada de mina zarzal



(Autores del proyecto)

Mina Esperanza: Se ubica espacialmente a 30 metros de la mina zarzal en dirección NW, estratigráficamente esta debajo de la otra mina aproximadamente 50 metros y aun en la sección superior de la formación Guaduas, en dirección Sur – Oeste de esta mina se encuentra la formación arcillas de Socha.

Imagen 2. Entrada mina esperanza



(Autores del proyecto)

Toma de datos en campo.

Los datos necesarios y tomados en el trabajo de campo realizado fueron:

- ❖ Tipo de discontinuidad
- ❖ Rumbo y buzamiento de las discontinuidades
- ❖ Espaciamiento entre diaclasas
- ❖ Condición de discontinuidades: Rugosidad, continuidad, abertura, relleno, alteración
- ❖ Condición del agua
- ❖ Numero de fisuras por metro cubico para hallar el RQD

Estas características fueron consignadas en el proceso práctico de exploración en donde se tomaron alrededor de 490 datos (*Anexo B.2*) mediante las estaciones geomecánicas realizadas a lo largo de las minas, el siguiente formato fue el utilizado en esta etapa:

Tabla 2. Formato toma de datos en campo

1	Ubicación	Mina				
		Estación geomecanica				
2	RQD		<i>No de discontinuidades medidas</i>			

3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
		Puntuación					
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm
		Puntuación					
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Ondulada	Suave
		Puntuación					
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		Puntuación					
		Alteración	Inalterada	Lig. Alterada	Modera alterada	Muy Alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0
5	Nivel freático	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10lt/mm	10 -25 lt/mm	25-125 lt/mm	>125 litros/mm
		Relacion:presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
		Estado general	Seco	Lig Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
		Puntuación					
Datos estructurales							

Formato trabajo de campo usado en cada estacion geomecanica

El anterior formato se llena según las características vistas en trabajo de campo, cada una de estas tiene una identificador para el posterior ingreso al software DIPS . *Ver cap. 3 Geotecnia-Análisis de discontinuidades.*

Condición de las discontinuidades.

Para la descripción de las distintas familias de discontinuidades en el macizo rocoso se evaluaron las siguientes características y parámetros geométricos: espaciado, continuidad, rugosidad, abertura, relleno, humedad; a través del trabajo de campo realizado en donde se

tomaron un total de 270 datos para la mina esperanza y 221 datos para la mina zarzal incluyendo en cada uno de estos su dirección y cabeceo los cuales fueron modelados en el programa DIPS.

Cada dato de entrada tiene un identificador al momento de ser ingresado al software , el cual se explica a detalle en el capítulo 3 geotecnia (Análisis de discontinuidades) , a continuación se detallada un ejemplo de la forma de ingreso de datos y

Tabla 3. Ejemplo caracterización de discontinuidades

No Diaclasa	Buzamiento	Dirección Buzamiento	Tipo	Espaciamento	Rugosidad	Apertura	Continuidad	Alteración	Humedad	Relleno
1	73	254	0	4	2	3	1	2	1	2
2	70	189	0	3	3	4	1	3	1	4
3	85	263	0	4	3	5	1	2	1	6
4	79	226	0	3	2	2	1	2	1	
5	66	243	0	2	3	3	1	3	1	4
6	84	231	0	2	2	3	1	2	1	4
7	79	249	0	2	3	3	1	3	1	
8	81	254	0	2	1	4	1	2	1	4
9	34	122	0	3	2	3	2	2	1	
10	84	269	0	3	2	4	1	3	1	4

Datos de entrada al software DIPS (Anexo B.2)

Clasificación Geomecánica

Uno de los objetivos del presente estudio es realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso correspondiente a las minas pertenecientes a la concesión FIU-151, Gámeza Boyacá, usando la metodología Rock Mass Rating (RMR). Actualmente se usa la edición de 1989. Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los siguientes parámetros:

- ❖ La resistencia a compresión simple del material
- ❖ El RQD (Rock Quality Designation)
- ❖ El espaciamiento de las discontinuidades
- ❖ El estado de las discontinuidades
- ❖ La presencia de agua
- ❖ La orientación de las discontinuidades

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros mencionados anteriormente. El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca.

Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR

1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Lig. Alterada	Moderada alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Nivel freático	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10lt/mm	10 -25 lt/mm	25-125 lt/mm	>125 litros/mm		
		Relacion:presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Estado general	Seco	Lig Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Condiciones de clasificación Bieniawsky (Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, & Carlos Oteo, 2002, pág. 128)

Corrección por la orientación de discontinuidades

Tabla 5. Corrección por la orientación de discontinuidades RMR

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20° cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy Favorable	Favorable	Media	Desfa- vorable	Muy desfavorable	Media	

Fuente (Bieniawski, 1989)

Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR:

CLASE I: $RMR > 80$, Roca muy buena

CLASE II: $80 > RMR > 60$, Roca buena

CLASE III: $60 > RMR > 40$, Roca media

CLASE IV: $40 > RMR > 20$, Roca mala

CLASE V: $RMR < 20$, Roca muy mala

Exploración y muestreo.

En la zona de estudio se obtuvieron muestras de tamaño bloque con dimensiones aproximadamente de 30 * 30 cm, recolectadas adentro de cada una de las minas para los materiales de techo (limolita), medio (carbón) y base (limolita), el muestreo fue realizado por sectores para cada mina destacando que se obtuvieron bloques del fondo, la mitad e inicio, muestreo que permitieran la realización de los ensayos necesarios teniendo en cuenta la variabilidad de los materiales, posteriormente se transportaron envueltas y marcadas al laboratorio de suelos y rocas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC para su corte y extracción de testigos.

Preparación De Las Muestras.

Las muestras de tamaño bloque obtenidas pasan por un proceso de corte y preparación, de esta manera se obtuvieron testigos cilíndricos y rectangulares además de muestras de tamaño puño.

Imagen 3. .Preparación de muestras



(Autores del proyecto)

Metodología de modelo 2D geológico– geotécnico

Se realizó a partir de las litologías descritas un modelo geológico en vista, donde se puedan identificar: principales litologías, fallas, linchamientos, contactos, además de consignar los resultados obtenidos de la calidad del macizo a detalle.

Metodología espaciado optimo entre sostenimiento

Para el desarrollo de esta etapa del trabajo es necesario realizar una toma de datos propios de longitud y diámetros de cabezales, además de saber la calidad de la roca de techo de las labores mineras para así mediante la metodología de Protodyakonov obtener la carga del techo y mediante el manejo de fórmulas obtener el valor de espaciado entre sostenimiento.

Toma de datos

Para el desarrollo de la metodología propuesta es necesario realizar toma de datos en las dos minas del estudio, los datos necesarios son:

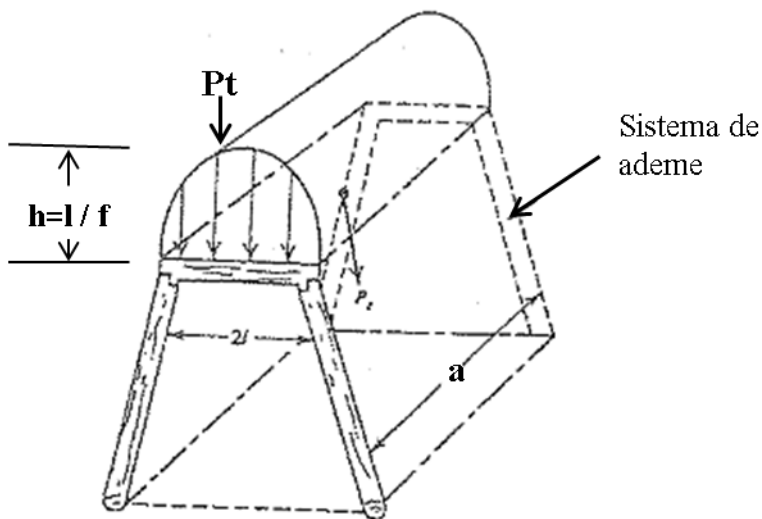
- longitud y diámetro de cabezales
- condiciones de carga
- valores de resistencia a compresión uniaxial, densidad del techo de las labores (Anexo B.3)

Imagen 4. Toma de medidas



Teniendo en cuenta reseñas bibliográficas de sostenimiento de minas se realizaron los cálculos pertinentes para la minas Esperanza y Zarzal; en este caso el valor importante a conocer es el espaciado entre marcos (**a**) *Ilustración 5.*

Ilustración 5. Cargas sobre un marco de madera según Protodyakonov



En donde

- P_t = Carga total que produce el domo parabólico en toneladas
- h = altura de la parábola, como altura de la carga en m
- l = Mitad de la anchura de la galería que puede tomarse como la longitud del cabezal en el marco de madera
- f = Coeficiente Protodyakonov de dureza que puede tomarse como 0,001 de la resistencia a la compresión de la roca en la cual se perfora el túnel, es un numero sin dimensiones
- γ = densidad de la roca en toneladas por metro cubico
- a = distancia entre los marcos de madera en metros

Calculo espaciado óptimo de sostenimiento

Para hallar el espesor óptimo entre sostenimientos es necesario el desarrollo en dos pasos:

- Hallar carga que soporta el techo
- Hallar el valor de (a), espesor óptimo entre sostenimiento. *Ilustración 5*

El cálculo de la distancia entre marcos se hace, para un elemento central (recordar que la carga representa una distribución parabólica y por el centro es mayor). Sobre este elemento central va a actuar carga uniformemente distribuida (P_t), es decir este cálculo se hace como el de una viga que descansa sobre dos apoyos y va a soportar una carga uniformemente distribuida, este cálculo se realiza por la expresión.

$$P_t = h * (\gamma l)$$

Datos necesarios

$$h = l / f$$

f = Resistencia a compresión simple de la roca 0,001 % de los valores obtenidos.

l = Mitad longitud del cabezal

γ = Densidad techo mina zarzal

Conociendo el valor de P_t ahora se puede hallar el espesor optimo del sostenimiento

$$a = K * L \left(P_t * \frac{n}{\sigma_{sf}} \right)^{1/2}$$

Donde

K = Coeficiente que tiene en cuenta la forma de los elementos del sostenimiento, madera

redonda $k=1$

n = coeficiente de sobrecarga, habitualmente se toma 1,2

σ_{sf} = Resistencia a la flexión de la madera (Ver tabla 7)

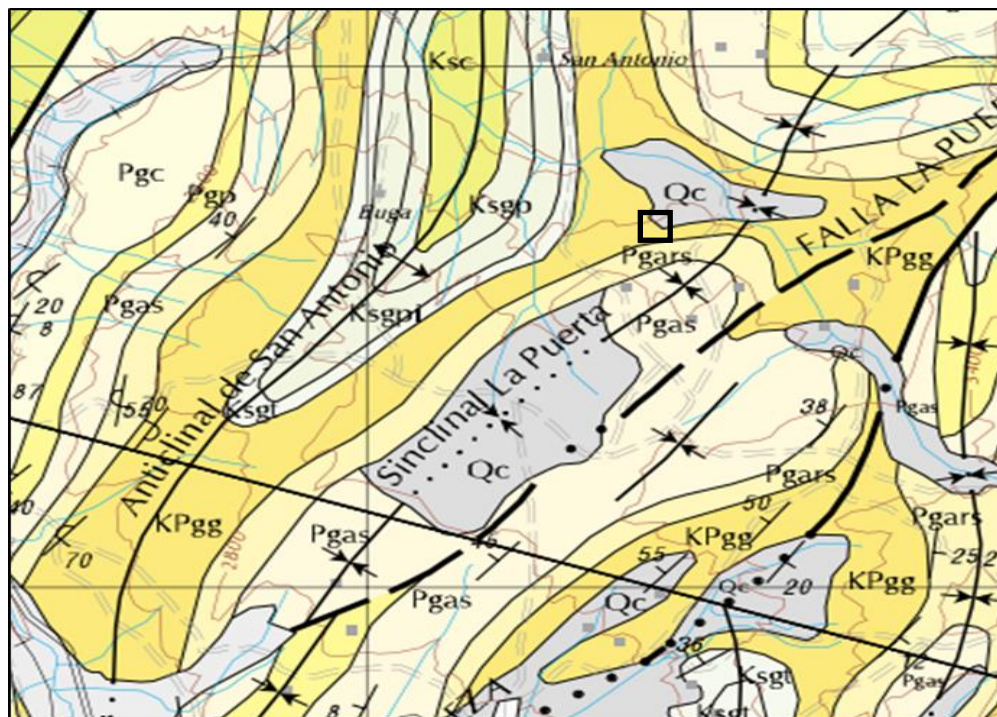
L = Distancia entre cuadros

Capítulo 2

Geología

Geología Regional

Ilustración 6. Plancha 172 Paz del Rio



□ Zona de estudio

Anticlinal de San Antonio.

Estructura localizada al oriente del bloque compuesta por la sucesión Cretácica, en superficie el núcleo del anticlinal se encuentra en rocas de la Formación Chipaque mientras que en sus flancos se observan rocas de las Formaciones Plaeners, Los Pinos, Arenisca Tierna y en algunos sectores la Formación Guaduas. Hacia el sector meridional entre la quebrada Canelas y la localidad de Bolívar se aprecia la estructura en posición invertida, situación causada posiblemente por la acción conjunta de las fallas que afectan el área. El estudio se localiza en el flanco oriental de esta estructura donde está en contacto la formación Guaduas (Kpgg) con la

formación areniscas de socha(Pgars) y el Cuaternario Coluvial (Qc); generalmente la dirección de estructuras y formaciones siguen el patrón regional de SW- NE

Falla la puerta

Al este del anticlinal del san Antonio se encuentra la falla La Puerta con dirección SW- NE y que además condiciona la dirección de las estructuras.

Geología local

Las unidades estratigráficas expuestas en superficie, dentro y en los alrededores de la concesión minera FIU-151, corresponden a las formaciones Guaduas, Areniscas de Socha y Cuaternario Coluvial.

El área de la concesión aproximada es de 129609,17 m² en donde la unidad de estudio es el miembro superior de la formación Guaduas, específicamente la parte baja del mismo.

Cuaternario Coluvial (Qc)

Estos depósitos corresponden a la época pleistoceno-holoceno.

La formación cubre gran parte del área del estudio, se le atribuye de 10 a 20 m de espesor, compuesto por cantos subredondeados de arena, envueltos en una matriz areno-arcillosa y limos de color amarillo y claro; producto de la desintegración a los años de las formaciones cretácicas

Imagen 5. Cuaternario

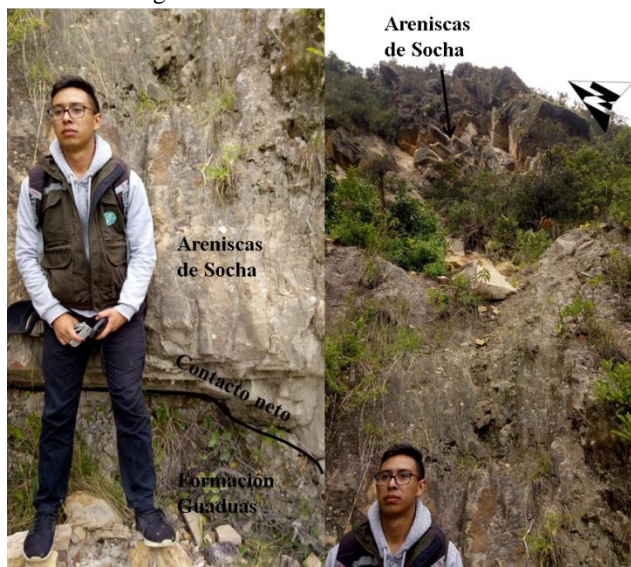


Cuaternario coluvial (Qc) , minas del estudio.

Formación arenisca de Socha (Pgars)

Fuera del área de concesión aflora la Formación Areniscas de Socha (Pgars) Paleoceno superior según, (Sarmiento, 1994), hacia la parte sur oeste de la ubicación de las minas , (ver anexo A.1), el contacto es neto con la Formación de Guaduas, formando un escarpe de 40 m de espesor , litológicamente compuesta por areniscas de grano fino, color amarillo, buena selección, espesor de las capas de grueso a muy grueso con una estratificación plano paralela y estratificación cruzada, las cuales tiene dirección de N16E/8SE.

Imagen 6.formación areniscas de Socha



Contacto neto entre formación guaduas (Kpgg) y formacion areniscas de socha (Pgars)

Formación guaduas (Kpgg)

La edad de la formación guaduas según (Alvaro & Sarmiento., 1994), Maastrichtiano superior – Paleoceno Inferior

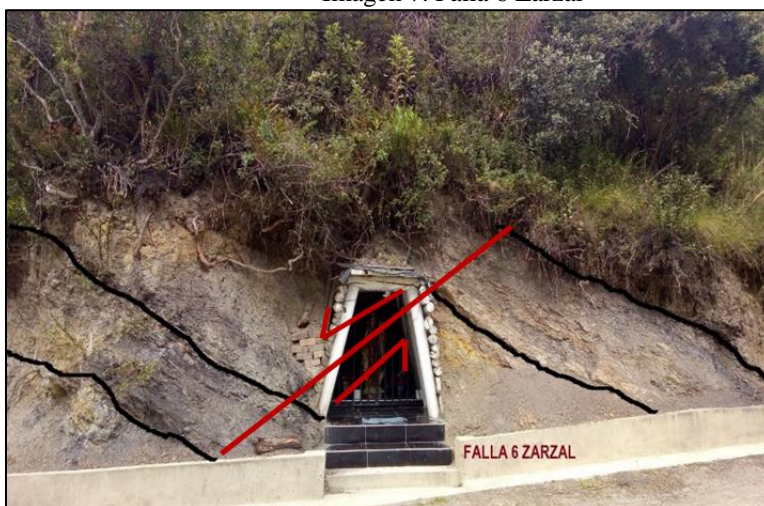
El área de estudio está ubicada en el miembro superior de la Formación Guaduas (Kpgg), cubierto en su mayoría por cuaternario, este a su vez se compone de dos submiembros; el superior compuesto de areniscas con bancos de carbón con un espesor promedio de 100 m, visto en el sector el cucharo, el inferior que comprende una serie de limolitas intercaladas con bancos de carbón, donde se encuentra estratigráficamente la Mina zarzal, y Mina esperanza.

Fallas locales

En el sector solo se pueden observar superficialmente la falla 4 Zarzal con dirección N74W/20NE, esta se aprecia en la mina abandonada la esperanza 2. También otra falla

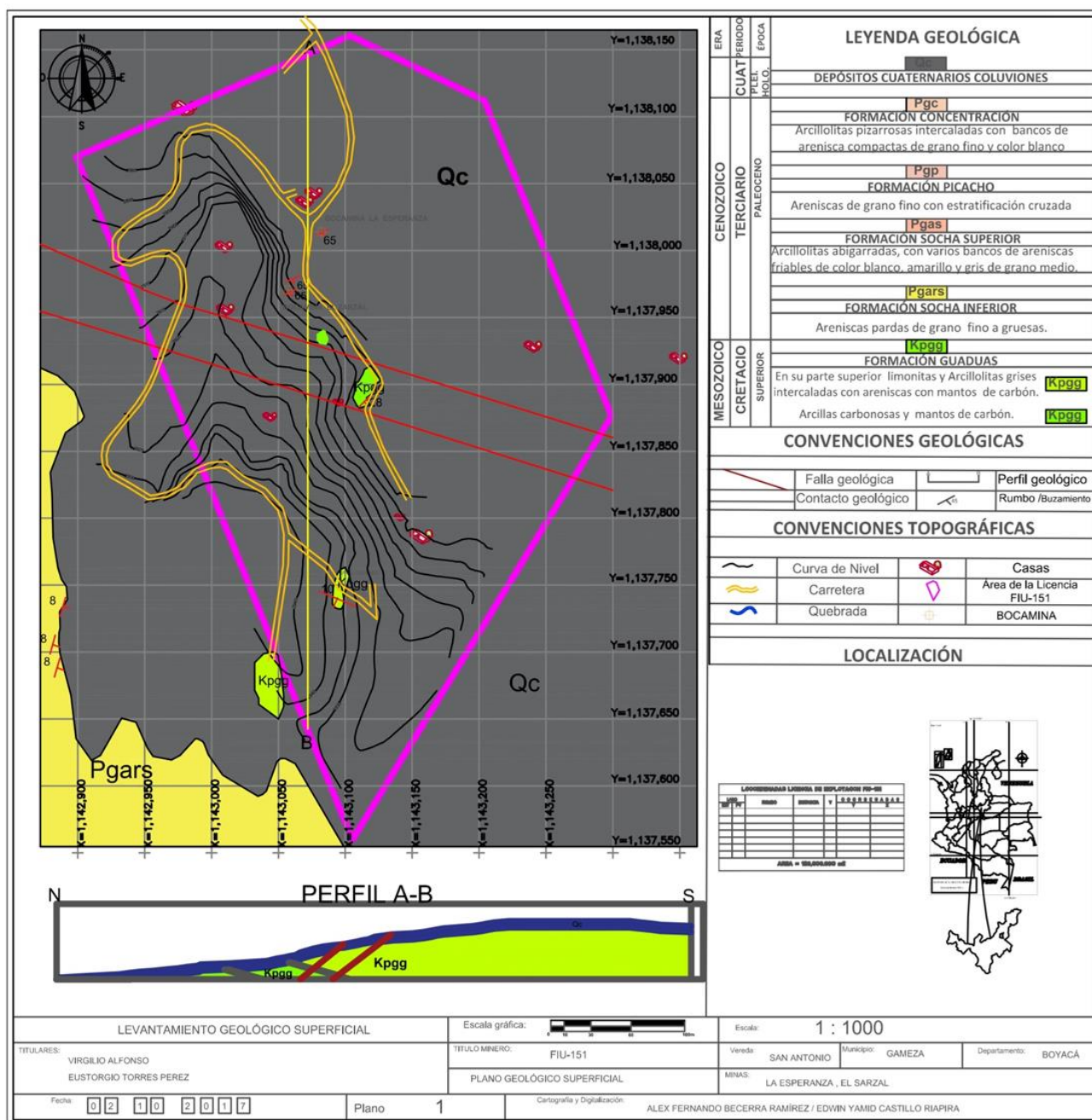
denominada 6 Zarzal *Imagen7*, su localización exacta está al margen derecho de la vía que comunica la mina zarzal y esmeralda exactamente sobre la estatua religiosa del sitio, la dirección aproximada de la misma es N73W/21NE.

Imagen 7. Falla 6 Zarzal



Desplazamiento de mantos , Falla 6 zarzal

Ilustración 7. Modelo geológico local



Formaciones, estructuras, ubicación minas.

Geología a detalle

Como ya se ha definido las minas esperanza y zarzal están ubicadas estratigráficamente en el miembro superior del Guaduas, el contacto entre el su miembro superior se encuentra en el sector denominado el cucharo donde se explota un manto de carbón de 1 m de espesor por medio de la bocamina del mismo nombre, allí, se distingue una arenisca guía de 1m de espesor seguida por el manto de carbón explotable anteriormente nombrado y por último, una arcilla fisible de 20 m de espesor aproximadamente. Continuando con la secuencia de los submiembros se encuentra el inferior, este inicia con un manto de carbón de 0.7 m de espesor al cual le sigue una arcillolita con laminación la que termina en contacto con una limolita fisible. En este punto se precisó tres secciones según la sección tipo de cada mina; sección tipo mina Zarzal, sección tipo parte media y sección tipo esperanza (Ver anexo A.2).

Geología mina zarzal.

Las unidades estratigráficas en las cuales se desarrolla los trabajos de labores mineras se representan por limolitas en su techo y base, además del manto 4 el cual es explotado.

La secuencia estratifica a detalle se describe a continuación:

Sección estratigráfica tipo.

En la parte superior se encuentra el manto de carbón 1Z de 0.7 m de espesor, seguido por una arcillolita de color gris con laminación, la que está en contacto neto con una capa de limolita de 1m de espesor, la que la componen de clastos de yeso hacia parte intermedia, poco friable, dura y de laminación delgada. Continúa el manto 4 de carbón de espesor 1,20m (manto explotado), este como características físicas, color negro, brillo vítreo, de litotipo vitreño.

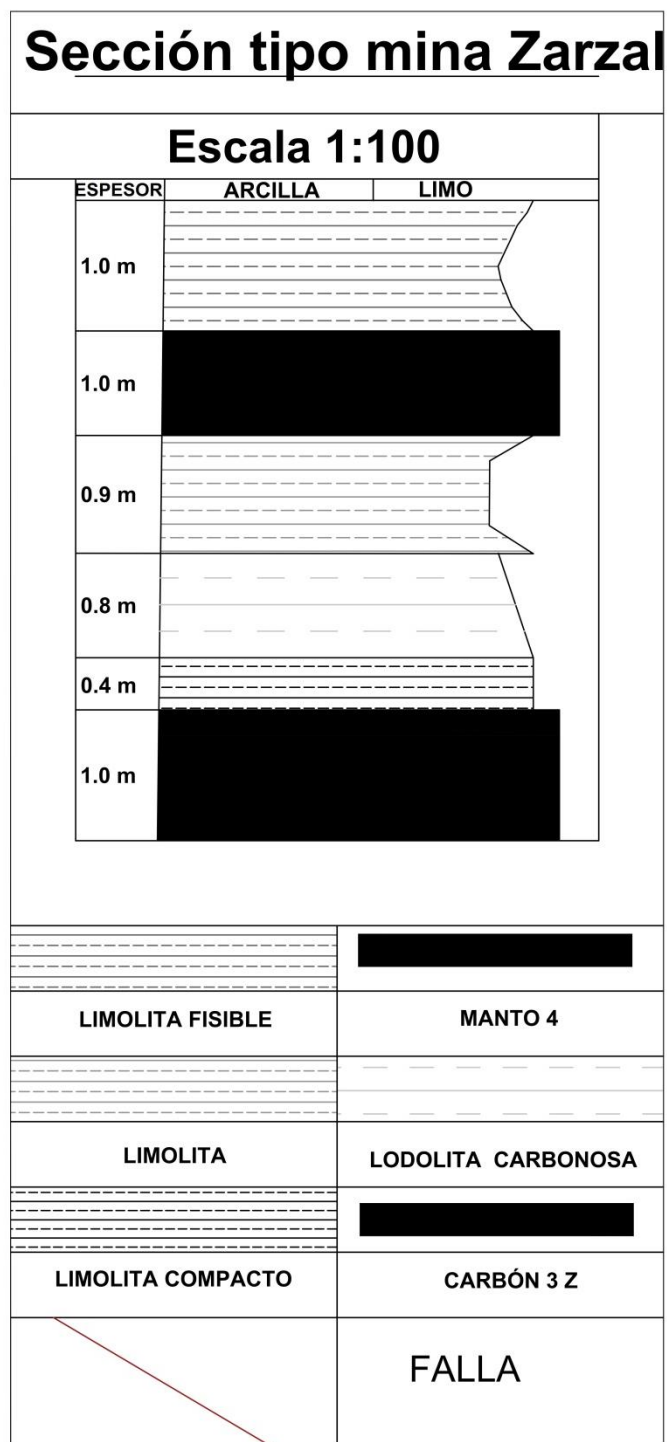
Siguiendo con la secuencia de arriba hacia abajo, se encuentra una capa de limolita 0,8m de espesor; color negro, poco friable, duro, bien seleccionada, laminación gruesa, con laminación y clivaje. La siguiente es una capa de lodolita carbonosa de 0.8m de espesor ; color negro en fresco y gris claro meteorizado, consistencia firme, ligeramente friable, dura, moderadamente seleccionada, y con laminación gruesa, su estructura está definida por intercalaciones de grano fino las que tienen contenido de materia vegetal y pequeñas láminas de carbón que lograron madurar térmicamente.

Inmediatamente continúa una limolita compacta de 0,4 m de espesor; tamaño de grano limo, color negro en fresco y gris en meteorizado, moderadamente fuerte, dura, muy bien seleccionada, laminación delgada, con trazas de plantas. Continúa el manto de carbón 3Z de 0,8m de espesor; color negro, brillo vítreo, litotipo vitreoso.

Por último en la secuencia se encuentra una lodolita gradacional la que tiene variación en su composición; hacia su techo limolitas, en la parte media el material es más arcilloso intercalado con concreciones de arena fina y clastos de yeso, en la parte inferior la capa es más fina y oscuras. Como características físicas y texturales se tiene; color negro y gris en meteorizado, friable, blanda, moderadamente seleccionada, laminación delgada y con algún diaclasamiento.

La pérdida de continuidad en la secuencia anteriormente descrita es mínima alrededor de 5m, solo se interrumpe en ocasiones puntuales por estructuras locales (fallas).

Figura 1. Sección tipo mina Zarzal



Modelo litológico mina zarzal (autores del poyecto)

Fallas mina zarzal.

La mina zarzal presenta 3 dominios estructurales, un sector con dirección norte oeste, donde las fallas tiene una inclinación hacia sur oeste, otros dos sectores hacia el sur, donde el primer dominio presenta fallas con dirección al nor-oeste, buzando hacia el nor-este las cuales son fallas de tipo normal y por ultimo una serie de fallas adyacentes a los dos dominios anteriores que tienen dirección este con buzamientos al nor-oeste y son de tipo inverso.(ver anexo A.3).

Geología parte media.

La parte intermedia de la secuencia esta entre las minas zarzal y esperanza, presenta la siguiente disposición secuencial de arriba hacia abajo (ver anexo A.2):

En contacto con una lodolita gradacional suprayace una limolita concrecional de 15m de espesor, la parte superior de esta capa tiene como características, limolitas de color negro en fresco, gris y amarillo claro en meteorizado, firme, algo friable, dura, selección moderada, estratificación plano paralela, con laminación, la parte inferior de la misma presenta las mismas características físicas pero con presencia de concreciones las que se componen de arena ,cementadas por sílice y material ferruginoso, estas tienen diámetros superiores a los 50cm.

A continuación aparece un manto de carbón 3 de espesor 1,2 m; color negro, brillo vítreo, con evidencia de pirita en su estructura. Inmediatamente continúa una lodolita negra de 11,5 m de espesor, con las siguientes características texturales y físicas; tamaño de grano lodo, color negro en fresco, gris en meteorizado, firme, ligeramente friable, dura, moderadamente seleccionada, laminación delgada, y estratificación plano paralela. En la parte superior de esta capa, hay presencia de materia vegetal, con algunas concreciones pequeñas con diámetro alrededor de 15cm con forma ovoide, compuestas por arena muy fina, alrededor clastos de

yeso, finalmente en la parte inferior de esta capa hay una pequeña intercalación de material fino con láminas de carbón, y cerca al contacto neto concreciones de 10 cm de diámetro aproximadamente.

Por ultimo en esta secuencia está el manto de carbón 5, de brillo vítreo, color negro, con presencia de pirita, tiene contacto neto con la parte inferior de las unidades estratigráficas de la mina esperanza.

Geología mina esperanza

Para esta mina se ha descrito la sección estratigráfica tipo que muestra la disposición y características de todos los materiales presentes, también la geología estructural de la mina detallando las fallas con su dirección y continuidad.

Sección estratigráfica tipo

La sección tipo de la mina esperanza presenta la siguiente disposición de su parte superior a inferior (ver anexo A.2):

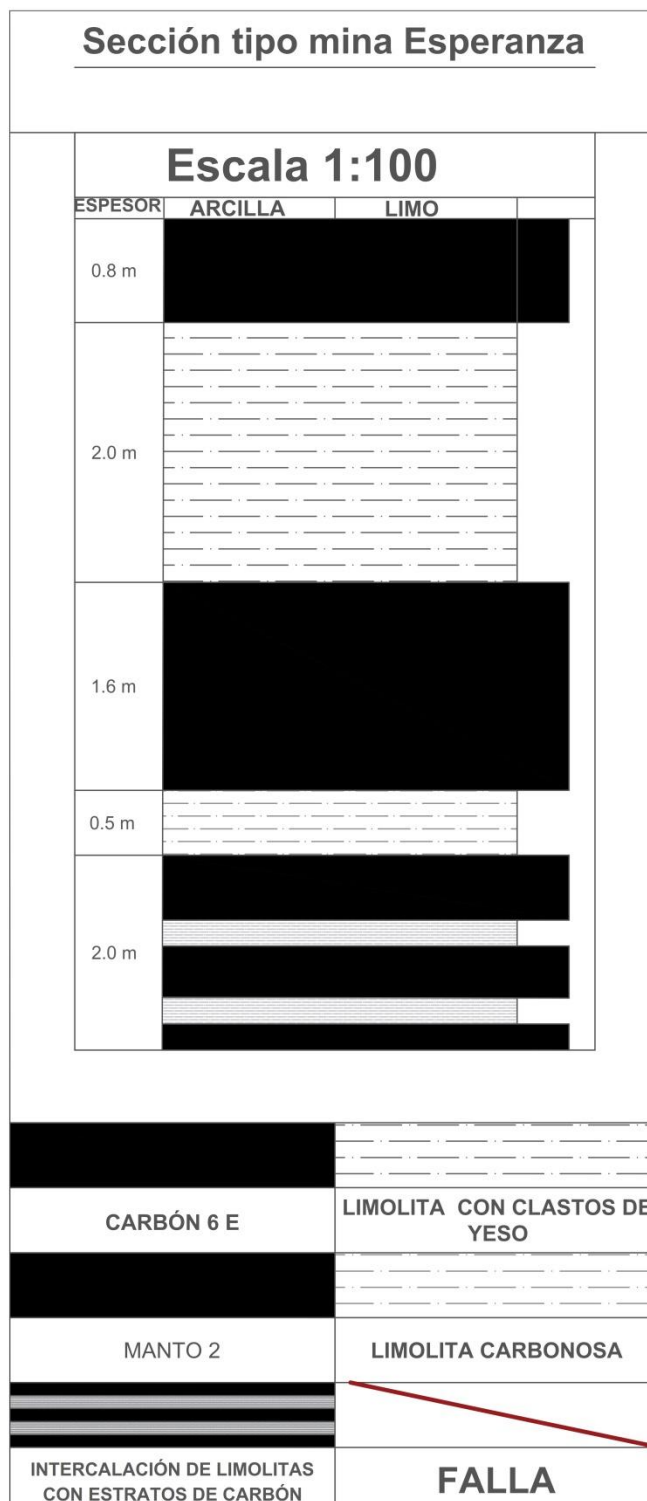
Un limolita negra con 18m de espesor y de las siguientes características texturales: tamaño de grano limo, color negro en fresco y gris en meteorizado, firme, algo friable, moderadamente dura, estratificación plano paralela, laminación, capa en contacto neto con el manto de carbón 6 perteneciente a la parte media. Inmediatamente después se encuentra el carbón 6E de 0,8m de espesor; color negro, brillo vítreo, litotipo vitreno. Siguiendo la secuencia se dispone una capa de limolita negra de 2 metros de espesor con clastos de yeso, débil, no friable, dura, moderadamente seleccionada, laminación delgada, estratificación plano paralela, y clivaje, en la parte inferior de la capa hay ocasionalmente concreciones, tiene contacto neto con el manto de carbón 6E.

El manto 2 de carbon que varía entre 1,50m a 2m de espesor tiene las siguientes características texturales y composicionales; color negro, brillo vítreo, litotipo vitreno, por lo que es explotado en la mina esperanza. Siguiendo con la secuencia estratigráfica se encuentra una limolita carbonosa de 0,5 m de espesor; tamaño de grano limo, de color negro en fresco y gris meteorizado, débil, no friable, duro, moderadamente seleccionada, laminación delgada, estratificación plano paralela, clivaje, la cual en su estructura se encuentra intercalados con láminas de .materia que logro madurar térmicamente, con el grano fino.

Finalmente se determina una intercalación entre limolitas negras y mantos de carbón los cuales no superan los 50cm de espesor; las limolitas poseen; color negro en fresco y gris meteorizado, débiles, no friables, duras, moderadamente seleccionadas, laminación delgada, estratificación plano paralela, para las capas de carbón se tiene; color negro, brillo vítreo, litotipo vitreno.

En esta mina, se tiene buena continuidad tanto vertical como horizontal de las capas, se pierde de manera parcial (menos de 5 metros) solo cuando es interrumpida por las fallas locales.

Figura 2. Sección tipo de la mina esperanza



Litologías presentes en la mina la esperanza

Fallas mina esperanza

Un primer sector en donde se presenta fallas enmarcadas como 1 y 5 esperanza presentan una dirección nor-este e inclinación sur-este de tipo inverso y las fallas 2 y 3 esperanza con dirección este-oeste buzando hacia el sur . El segundo sector se evidencia la falla 8 esperanza que tiene dirección nor- oeste e inclinación hacia sur- oeste de tipo normal. Un tercer sector de fallas transversales donde se encuentra la falla 4 de dirección al nor-este y buzamiento al sur-este, de tipo inverso. Las fallas 6 y 7 esperanza de dirección nor-este y buzamiento sur-este son de tipo inverso. *Anexo A.3*

La geología y disposición en guías e inclinados de las minas se consigan en el cap. 3 Modelo geológico-geotécnico

Figura 3. Modelo fallas mina esperanza y zarzal

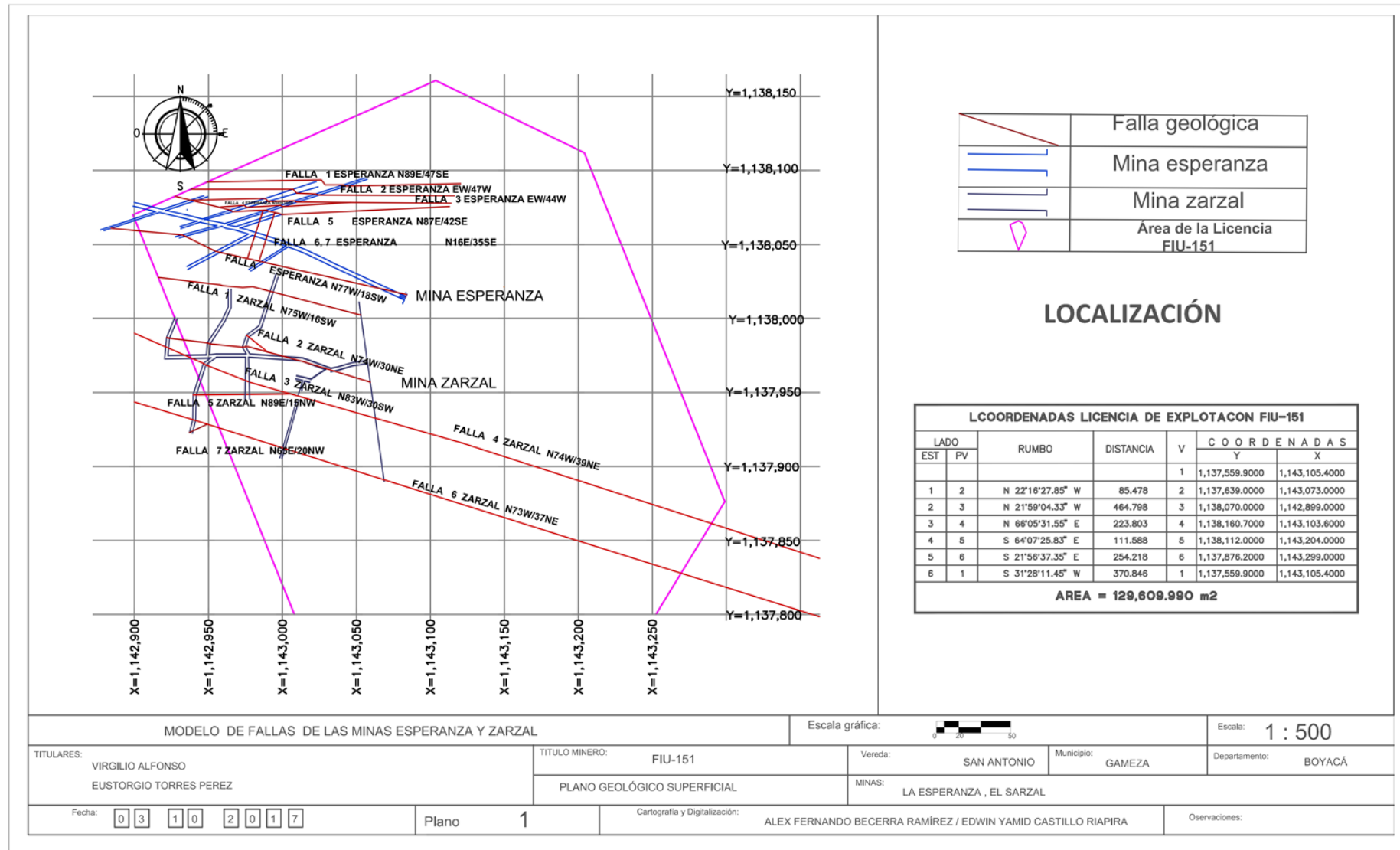
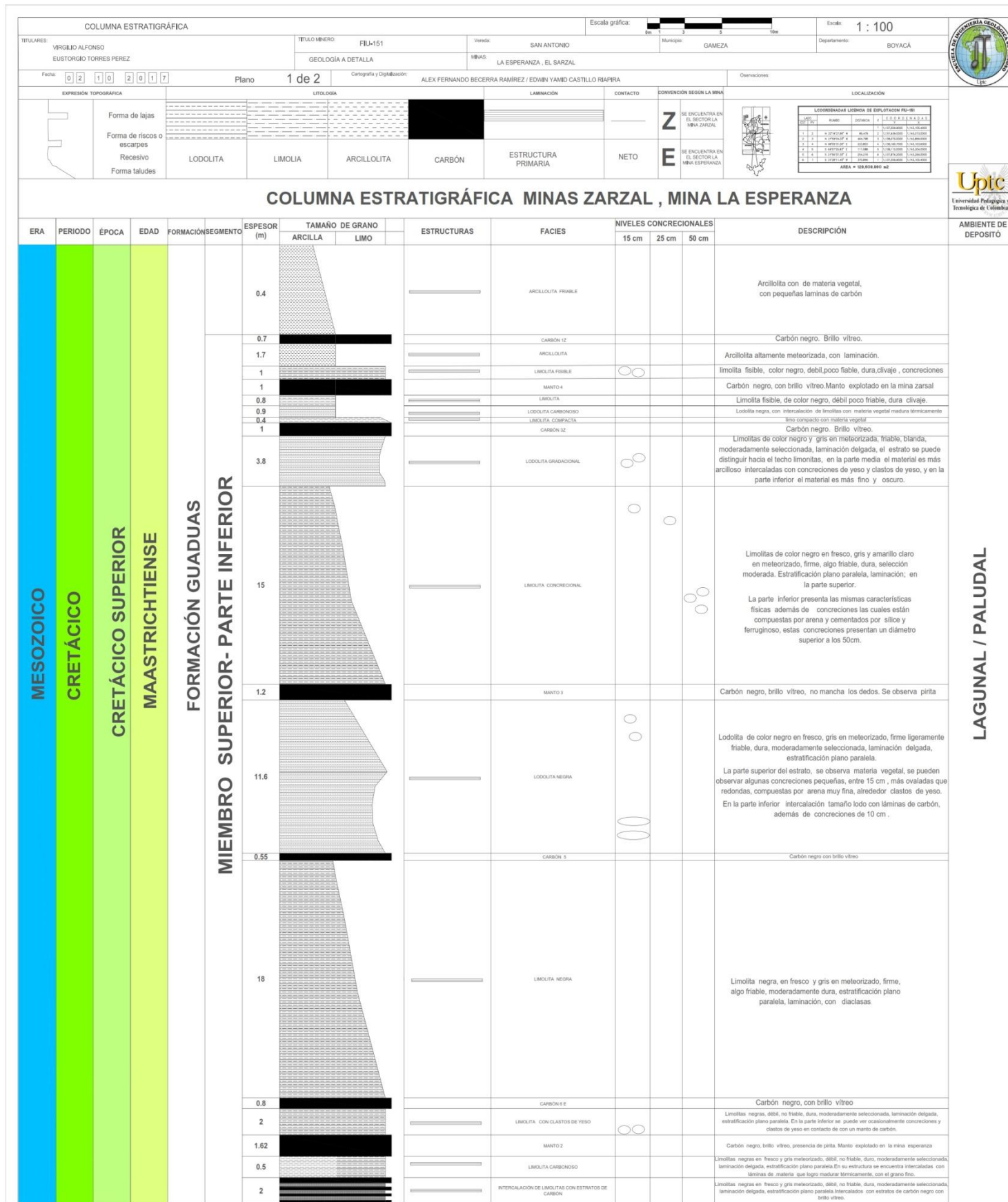


Figura 3.1 Columna estratigráfica concesión FIU-151



Capítulo 3

Geotecnia

Detallado los materiales con sus características estructurales y texturales de las dos minas y realizado el proceso de muestreo y toma de datos (*cap.1 información general del proyecto- metodología del trabajo -metodología geotécnica*) se empieza con el desarrollo del actual capítulo en donde se tiene como objetivo caracterizar el macizo y que se llevó a cabo desarrollando los siguientes lineamientos; hallar características físicas y mecánicas a través de los ensayos de laboratorios, obtener modelos estereográficos de familias de diaclasas y tipo de falla que se pudiese presentar además de realizar la clasificación RMR para las dos minas y los materiales de techo medio y base de cada una de estas.

Ensayos de laboratorios

Para el desarrollo del estudio fueron realizados los siguientes ensayos de mecánica de rocas:

- Propiedades físicas
- Compresión simple
- Durabilidad y desleimiento
- Velocidad sónica

Ensayo propiedades físicas.

A partir de las muestras de tamaño bloque obtenidas de las minas del estudio se preparan muestras más pequeñas, tamaño puño, para cada material.

El laboratorio de propiedades físicas es realizado para estudiar los posibles procesos de alteración y meteorización que han experimentado los materiales presentes de la formación Guaduas, parámetros que permiten determinar las propiedades de las rocas.

Imagen 8. Preparación muestras de puño



(Autores del proyecto)

Procedimiento

El proceso para la realización de este ensayo es simple y consiso; la informacion recolectada en laboratorio necesaria para cada una de las muestras es: pesos secos, saturados y volumen.

Imagen 9. Peso seco de la muestra



Imagen 10.volumen y saturación de las muestras



(Autores del proyecto)

Resultados

La siguiente tabla contiene los resultados obtenidos para veinte muestras de mano, extraídas de los las muestras de bloques, representativas de techo, medio y base de cada una de las minas.

Tabla 6. Datos muestras propiedades físicas

Mina	Muestra	Tipo	M(g)	Ms(g)	Msat(g)	V(cc)
ZARZAL	1	Limolita techo	143,3	136,9	149,7	62
	2	Limolita techo	147,1	141,8	158,9	70
	3	Limolita techo	149,7	142,6	157,2	65
	4	Limolita techo	103	98,5	106,7	44
	5	Limolita base	150,4	144,7	157,2	60
	6	Limolita base	154,6	148,4	171,3	55
	7	Limolita base	98,3	94,4	103,3	35
	8	Carbón	59,4	57,8	58,4	45
	9	Carbón	82,1	79,4	81	58
	10	Carbón	62,7	60,2	63,4	45
ESPERANZA	11	Limolita techo	44,1	43,4	48,5	19
	12	Limolita techo	60,8	60,1	64,1	25
	13	Limolita techo	77	76,2	79,8	48
	14	Limolita techo	58,3	57,8	60,2	22
	15	Limolita base	100,4	99,6	102,5	51
	16	Limolita base	117,7	116,6	119,4	63
	17	Limolita base	60	59,6	62,7	38
	18	Carbón	91,3	91,2	94,4	70
	19	Carbón	90,7	90,5	92	65
	20	Carbón	93,4	93,3	96,9	70

Tabla 7. Resultados propiedades físicas

Mina	Muestra	P (g/cc)	Pd (g/cc)	Psat (g/cc)	w%	s%	n%	e	y (KN/m ³)	yd (KN/m ³)	ysat (KN/m ³)
ZARZAL	1	2,20	2,21	2,41	4,67	50,00	10,32	0,25	21,60	21,64	23,66
	2	2,10	2,03	2,27	3,74	30,99	24,43	0,32	20,59	19,85	22,25
	3	2,30	2,19	2,42	4,98	48,63	22,46	0,29	22,56	21,49	23,70
	4	2,34	2,24	2,43	4,57	54,87	18,64	0,23	22,93	21,93	23,77
	Promedio	2,24	2,17	2,38	4,49	46,12	18,96	0,27	21,92	21,23	23,34
	5	2,51	2,41	2,62	3,94	45,60	20,80	0,26	24,56	23,63	25,68
	6	2,81	2,70	3,11	4,18	27,10	41,60	0,85	27,54	26,44	30,52
	7	2,81	2,70	2,95	4,13	43,80	25,40	0,34	27,52	26,43	28,92
	Promedio	2,71	2,60	2,90	4,08	38,83	29,27	0,48	26,54	25,50	28,37
	8	1,32	1,28	1,31	1,73	60,00	1,33	0,00	12,95	12,58	12,80
	9	1,42	1,37	1,40	2,02	100,00	2,75	0,03	13,87	13,41	13,68
	10	1,39	1,34	1,41	5,32	59,37	4,00	0,08	13,65	13,10	13,80
	Promedio	1,38	1,33	1,37	3,02	73,12	2,69	0,04	13,49	13,03	13,43
ESPERANZA	11	2,32	2,28	2,55	1,61	13,73	26,80	0,37	22,75	22,39	25,02
	12	2,43	2,40	2,56	1,17	17,50	16,00	0,19	23,83	23,56	25,13
	13	1,60	1,59	1,66	1,05	22,22	7,50	0,08	15,72	15,56	16,29
	14	2,65	2,63	2,74	0,87	20,83	10,90	0,12	25,97	25,75	26,82
	Promedio	2,35	2,32	2,46	1,15	20,66	14,19	0,17	23,01	22,75	24,14
	15	1,97	1,95	2,01	0,80	27,59	5,69	0,06	19,29	19,14	19,70
	16	1,87	1,85	1,90	0,94	39,29	4,44	0,05	18,31	18,14	18,57
	17	1,58	1,57	1,65	0,67	12,90	8,16	0,09	15,47	15,37	16,17
	Promedio	1,88	1,86	1,93	0,88	27,12	6,42	0,07	18,40	18,23	18,86
	18	1,30	1,30	1,35	0,11	3,13	4,57	0,00	12,78	12,77	13,22
	19	1,40	1,39	1,42	0,22	13,33	2,31	0,02	13,68	13,65	13,87
	20	1,33	1,33	1,38	0,11	2,78	5,14	0,05	13,08	13,06	13,57
	Promedio	1,44	1,44	1,50	0,19	5,87	5,39	0,05	14,15	14,13	14,65

Donde

Pd (gr/cm³): Peso muestra seca

Psat(gr/cm³): Peso Muestra Saturada

n(%): Porcentaje de porosidad

S(%): Porcentaje de saturación

e: Relación de vacíos

W (%): Porcentaje de humedad

γ (KN/m³): Peso Especifico

γ_d (KN/m³): Densidad Seca

γ_{sat} (KN/m³): Densidad Saturada

Interpretación.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que en promedio la porosidad para las minas zarzal y esperanza en las muestras estudiadas de limolitas techo es de 18.96% y 14,19% respectivamente, esto indica una baja porosidad y que la roca como tal es compacta y de consistencia densa, los porcentajes de humedad establecen que los materiales de techo y base poseen un contenido de humedad relativamente bajo oscilando entre 0,8 y 1,7 % los cuales son valores mínimos de porcentaje y dan a entender que los factores de saturación no podrían afectar el mineral o producir fallas significantes en el mismo. Caso similar ocurre en los carbones los cuales arrojan valores de porosidad entre 2,6% y 5,6% que en si son valores relativamente bajos, además se tiene que los porcentajes de humedad para este material están entre 0,9 y 3% que corroboran la consistencia y calidad del mismo. Ver anexo (B.1.1)

Ensayo durabilidad y desleimiento.

El ensayo de durabilidad y desleimiento es realizado para estudiar la resistencia de los materiales al ablandamiento y desintegración cuando son sometidos a procesos de humedecimiento y secado.

Procedimiento

Imagen 11. Pesado del material y tambor



En el proceso de corte y preparación de muestras se selecciona una masa total de cada material entre 500 y 550g, el cual tiene que pasar por el tamiz $\frac{1}{2}$ y no superar un tamaño máximo de partículas de 30mm

El proceso es simple; acoplar el tambor con su respectivo motor y artesa, se llena con fluido y con el material preparado y seleccionado, se pone a rotar a una velocidad constante durante 10 minutos aproximadamente. Posterior se retira el material, se pone a un proceso de secado y se toman los pesos secos de cada una de las muestras

Imagen 12. Proceso de rotación del tambor con fluido y muestra



Imagen 13. Secado y peso de los materiales



Resultados

El ensayo fue desarrollado para los materiales de techo (limonita) y carbón de las dos minas del estudio, los resultados obtenidos se consignan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Resultados ensayo durabilidad y desleimiento

Material	Indice de durabilidad (%)	Indice de desleimiento	Indice de desleimiento (%)
Limonita techo esperanza	96,66	0,0334	3,3387
Limonita techo zarzal	94,05	0,0595	5,9493
Carbón esperanza	99,55	0,0044	0,4405
carbón zarzal	99,77	0,0022	0,2208

(Autores del proyecto)

Interpretación.

La resistencia de la limolita de techo en las dos minas a la desintegración es muy alta ya que supera valores del 90% y de la misma manera el ablandamiento es muy bajo, el cual expresa el comportamiento del material al ser expuesto a condiciones saturadas, lo que concluye que el material es competente ante situaciones de humedecimiento o secado que se puedan presentar en el desarrollo de las actividades de explotación. Así mismo el carbón de las dos minas posee una resistencia a la desintegración muy alta superando valores del 97% y como corresponde su valor de desleimiento muy bajo, lo cual lo hace un mineral de muy buenas condiciones a estados secos y húmedos.

Ensayo uniaxial o de compresión simple.

Generalidades.

Este ensayo permite hallar en el laboratorio la resistencia uniaxial de la roca, el objetivo del ensayo es la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca posteriormente preparado, hasta llegar a producir la rotura del mismo, se considera que dicha fractura o rotura ocurre cuando se produce una caída repentina en la aplicación de la carga, no siendo capaz el testigo de soportar incrementos de carga posteriores, se puede decir que este ensayo permite clasificar la roca de acuerdo a su resistencia.

Este ensayo es el procedimiento más fácil y sencillo al momento de valorar la resistencia de un material, para el presente trabajo se evaluó la resistencia de 24 testigos repartidos en proporciones iguales para las minas: seis testigos de limolita techo de cada una de las minas, para el material de la base se obtuvieron de a tres testigos por mina y finalmente de a tres testigos de carbón para cada mina.

Las muestras han pasado por un proceso de corte y preparación en donde se obtienen testigos en secciones cilíndricas y rectangulares, estas tienen que cumplir con los siguientes criterios:

- ❖ Razón largo/ancho de la probeta debe ser de 2.5 a 3
- ❖ Los extremos deben ser paralelos y pulidos, sin grietas

Imagen 14. Corte y preparación de muestras



(Autores del proyecto)

Imagen 15. Muestras obtenidas y cortadas



(Autores del proyecto)

La información necesaria de cada uno de los testigos obtenidos para la ejecución del ensayo es: diámetro, altura, peso y volumen los cuales son consignados en los formatos del presente ensayo. *Anexo (B.1.1)*

Imagen 16. pesado, medición de dimensiones de los testigos



(Autores Del Proyecto)

Procedimiento

1. Se ubica el testigo de forma que el pistón de la maquina quede paralelo a las caras transversales de la muestra. *imagen 17.*
2. Una persona se encarga de medir la presión a la cual está siendo sometida la muestra mediante el manómetro el cual está conectado a la prensa hidráulica.
3. Una segunda persona es la encargada de ir aumentando gradualmente la presión en la prensa hidráulica
4. Una vez el testigo falle, este se retira para analizar las condiciones y modo de ruptura.

Imagen 18.

Imagen 17. Ubicación del testigo en la maquina



Imagen 18. Muestras falladas



(Autores del proyecto)

Resultados.

Para comodidad y manejo de información, cada probeta fallada tuvo su manejo de datos y cálculos en un respectivo formato.

Ilustración 8. Formato del ensayo de compresión simple

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
INGENIERIA GEOLOGICA
ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE PARA ROCAS - (ASTM D 2166-91)

DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO :
LOCALIZACIÓN :
MUESTRA :

Estudio geomecanico para las minas Esperanza y Sarzal pertenecientes a la concesión minera FIU-151.
Gameza - Boyaca
Limolita techo zarzal 3

FECHA : SEPTIEMBRE DE 2017

COORDENADAS:

N 1143061
E 1137978

H(mnm): 2891


DESPLAZAMIENT O VERTICAL x (0,01 mm)	RESISTENCIA (KN)	DEFORMACIÓN UNITARIA (ε)	ESFUERZO (KPa)	ESFUERZO (MPa)
0	0	0,00000000	0,00	0,00
10	0,6	0,00097561	350,29	0,35
20	0,7	0,00195122	408,67	0,41
30	1	0,00292683	583,82	0,58
40	1,2	0,00390244	700,58	0,70
50	1,7	0,00487805	992,49	0,99
60	2	0,00585366	1167,63	1,17
70	2,8	0,00682927	1634,69	1,63
80	3,2	0,00780488	1868,21	1,87
90	4,3	0,00878049	2510,41	2,51
100	6,7	0,00975610	3911,57	3,91
110	7,1	0,01073171	4145,10	4,15
120	7,7	0,01170732	4495,39	4,50
130	8,8	0,01268293	5137,59	5,14
140	11	0,01365854	6421,98	6,42
150	12	0,01463415	7005,80	7,01
160	13,5	0,01560976	7881,52	7,88
170	14,3	0,01658537	8348,58	8,35
180	14,3	0,01756098	8348,58	8,35
190	16	0,01853659	9341,06	9,34
200		0,01951220	0,00	0,00

A

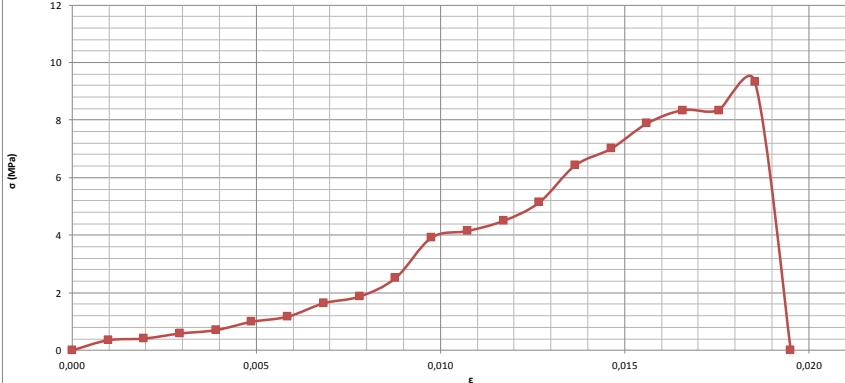
No. DE MUESTRA	Limolita techo zarzal 3
FORMA DE MUESTRA	Rectangular
ALTURA (cm)	10,250
DIAMETRO (cm)	4,670
PESO MUESTRA (gr)	362,50
AREA (cm²)	17,13
VOLUMEN (cm³)	175,57
γ (gr/cm³)	2,06

σ _d (MPa)	9,34
Ei (MPa)	659,96

σ _d (MPa)	9,34
Resist (KN)	14,3



Esfuerzo vs Deformación unitaria



OBSERVACIONES:

Formato donde se consigna las dimensiones de cada testigos y valores del ensayo

En la siguiente tabla se consignan los datos obtenidos para los 24 testigos obtenidos:

Tabla 9. Resultados ensayo compresión uniaxial

Mina	Muestra	σ_c (Mpa)	Resistencia (Kn)
Zarzal	Limolita techo1	10,80	12,83
	Limolita techo2	13,10	9,78
	Limolita techo 3	14,90	13,90
	Limolita techo 4	13,70	14,56
	Limolita techo 5	11,40	13,79
	Limolita techo 6	10,40	15,22
	Promedio	12,38	13,35
	Carbón 1	6,60	4,29
	Carbón 2	6,20	7,28
	Carbón 3	5,50	5,25
	Promedio	6,10	5,61
	Limolita base 1	20,30	28,30
	Limolita base 2	14,94	16,50
	Limolita base 3	8,69	9,00
	Promedio	14,64	17,93
Esperanza	Limolita techo1	11,40	11,11
	Limolita techo2	10,90	10,62
	Limolita techo 3	14,30	9,34
	Limolita techo 4	7,90	9,57
	Limolita techo 5	12,80	9,57
	Limolita techo 6	12,80	16,59
	Promedio	11,68	11,13
	Carbón 1	6,00	4,29
	Carbón 2	5,12	8,80
	Carbón 3	9,30	5,29
	Promedio	6,81	6,13
	Limolita base 1	3,68	6,50
	Limolita base 2	13,59	25,10
	Limolita base 3	15,22	10,40
	Promedio	10,83	14,00

(Autores del proyecto)

Interpretacion.

La *ilustracion 7* muestra un ejemplo de las curvas esfuerzo-deformacion obtenidas de este ensayo. La curva presenta una rama ascendente hasta llegar al punto de las resistencia pico, σ_c , y una rama descentede que refleja la perdida de resistencia del material. La resistencia a compresion simple viene siendo , el valor de la fuerza maxima que soporta la probeta dividido por el area sobre la que se aplica la fuerza. Este parametro depende, de cierto modo, del tamaño y forma de la probeta, de la velocidad de la carga aplicada y tambien del contenido de humedad,etc.

De acuerdo con el comportamiento de los materiales estos exhiben valores cercanos para las dos minas; la limolita de techo de la mina zarzal ofrece valores más altos de resistencia, promedio de 13,4kn, en la mina esperanza valores los valores promedio son de 11,2 KN. Algo similar ocurre con la limolita de base, donde los valores pico son los pertenecientes a la mina zarzal, alrededor de 18 KN, mientras en la mina esperanza este valor es más bajo, promediando 14 KN. Del carbón se puede agregar que sus valores de resistencia son similares en las dos minas oscilando entre 5,5 y 6,5 KN, este es un primer indicador de igualdad en cuanto a calidad del material en las dos minas.

Los resultados obtenidos son necesarios para la clasificación geomecánica del macizo, parte crucial en el desarrollo del presente estudio, de ahí la importancia de conocer los valores de resistencia en los distintos materiales del macizo.

Ensayo velocidad sónica.

Generalidades.

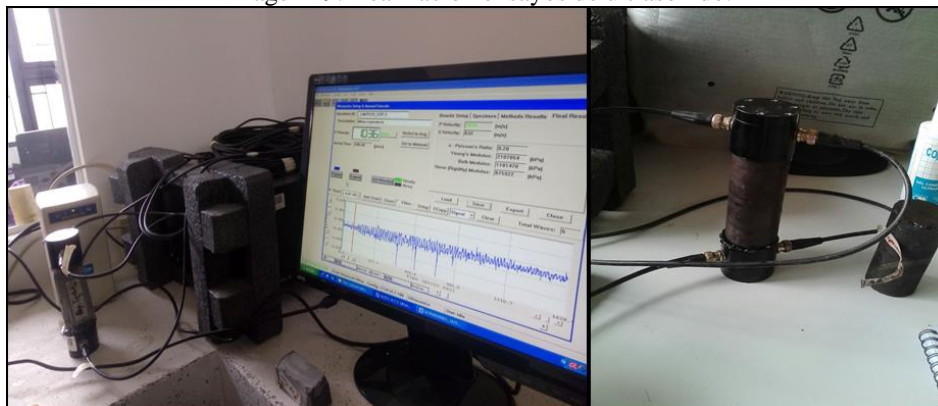
La velocidad de los pulsos de ultrasonido que viajan en un material sólido depende de la densidad y de las características elásticas de los materiales. Así esta velocidad dependerá

exclusivamente de las características de los materiales, por tanto las medidas de esta velocidad, lograran ser calculadas o valoradas a partir de la condición del material.

Procedimiento.

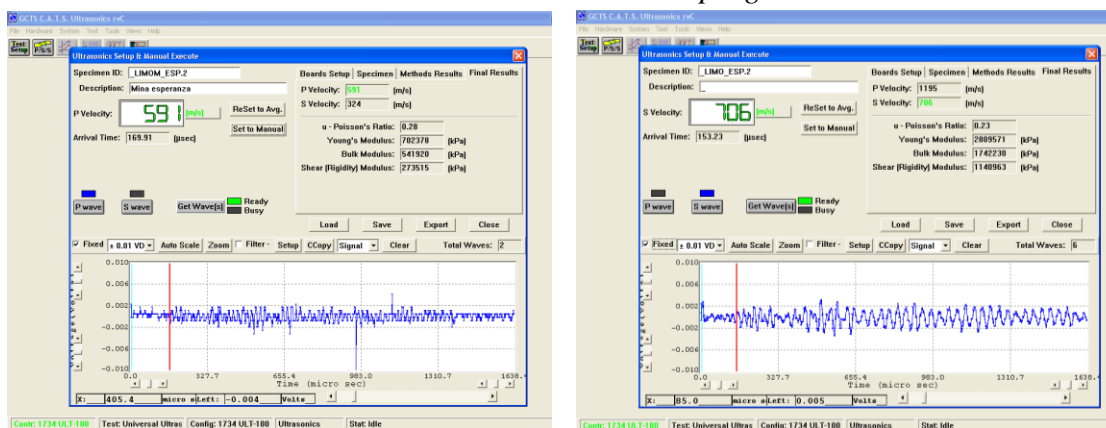
Para medir variables ultrasónicas, primero se prepara la probeta, limpiándola de posibles restos de lodos adheridos a su superficie, eliminando la humedad de la muestra, además de tener previamente datos de peso, altura, diámetro de cada una de los testigos etc. Una vez preparada la probeta se realiza la propagación de las ondas ultrasónicas a través de ella, registrando la señal resultante. Para ello se ha dispuesto un equipo receptor y uno emisor de señales.

Imagen 19. Realización ensayos de ultrasonido.



(Autores del proyecto)

Ilustración 9. Modelación en el programa



Modelacion en el programa. Ver Anexo (B.I.2)

Resultados.

El ensayo fue trabajado para un total de 24 testigos repartidos, en donde están presentes los materiales de techo, carbón y base. Estos fueron sometidos al equipo de ultrasonido el cual opera por medio del programa “cats ultrasonics” y que genera información.

Los parámetros que se obtienen al ensayar un testigo en el equipo son: velocidades onda p y s, módulo de Poisson, módulo de Young y módulo de rigidez; los cuales se consigan en la *tabla 10*.

Tabla 10.Resultados ensayo ultrasonido

Mina	Muestra	Onda P (m/s)	Onda S (m/s)	Módulo de Poisson	Módulo de Young(Kpa)	Módulo de Rigidez (Kpa)
Zarzal	Limolita techo 1	1133	638	0,27	2683156	1058088
	Limolita techo 2	1025	594	0,25	2038303	817081
	Limolita techo 3	1036	632	0,2	2107054	875922
	Limolita techo 4	988	556	0,27	1579626	622750
	Limolita techo 5	873	531	0,21	1753913	725540
	Limolita techo 6	1011	548	0,29	1656992	641619
	Carbón 1	1863	925	0,13	341108352	127614220
	Carbón 2	1975	1303	0,11	599067289	268744115
	Carbón 3	967	611	0,17	142482854	609877312
	Limolita base1	1208	536	0,38	1775846	649523
	Limolita base 2	1091	628	0,25	2336884	932895
	Limolita base 3	1087	456	0,35	2154556	834456
Esperanza	Limolita techo 1	1029	579	0,27	2111242	82310
	Limolita techo 2	1133	625	0,28	3156701	123196
	Limolita techo 3	1104	603	0,29	2429773	94076
	Limolita techo 4	1139	626	0,28	3279505	128052
	Limolita techo 5	954	581	0,2	2658020	110366
	Carbón 1	1187	747	0,17	1708029	728749

	Carbón 2	1054	634	0,22	1369579	563031
	Carbón 3	990	628	0,16	1441231	619775
	Carbón 4	799	524	0,12	953698	424886
	Limolita base1	2343	1139	0,35	7343732	272610
	Limolita base 2	1967	1121	0,23	1447253	587109
	Limolita base 3	1987	1121	0,29	5465678	458109

Interpretacion

Los valores teóricos según el tipo de roca concuerdan con los obtenidos a través del desarrollo del presente ensayo, las velocidades longitudinales de onda en los materiales de limolitas de techo tienen valores entre de 1000 m/s y 1500 m/s, en cuanto a la limolita de base presenta valores mayores de 1300 a 2000 m/s; según los resultados de resistencia y parámetros anteriores obtenidos de los demás ensayos donde se demostró que el material de base tiene mejores características y valores más altos se llega a la analogía que entre más alto es la velocidad de onda longitudinal mejor es la calidad de esta.

El ensayo resulta representativo ya que se obtuvieron datos de un buen número de testigos, de acuerdo con el valor de velocidad de onda calculado a partir del tiempo de viaje longitudinal de la misma, se obtiene información importante que permite apoyado en la identificación visual del material ensayado, describir de mejor forma las características composicionales de dicho material.

Caracterización geotécnica del macizo rocoso.

Discontinuidades.

El termino discontinuidad hace referencia a cualquier plano de separación en el macizo rocoso, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, biogénico o tectónico, como las diaclasas o las fallas.

Las discontinuidades se han agrupado en diferentes tipos, sistemáticas, cuando aparecen en familias, y singulares, cuando aparece un único plano que atraviesa el macizo rocoso; estos últimos suelen ser más continuos y persistentes que las discontinuidades sistemáticas, pudiendo llegar, en el caso de las fallas, a dimensiones de varios kilómetros.

Imagen 20. Discontinuidades en las minas del estudio.



(Autores del proyecto)

Características de discontinuidades locales

En la descripción de las diferentes familias de discontinuidades en un macizo rocoso se incluyen las siguientes características y parámetros geométricos: orientación, espaciado,

continuidad o persistencia, rugosidad, abertura, relleno además de la corrección por orientación.

La toma de estos datos fue realizada en campo.

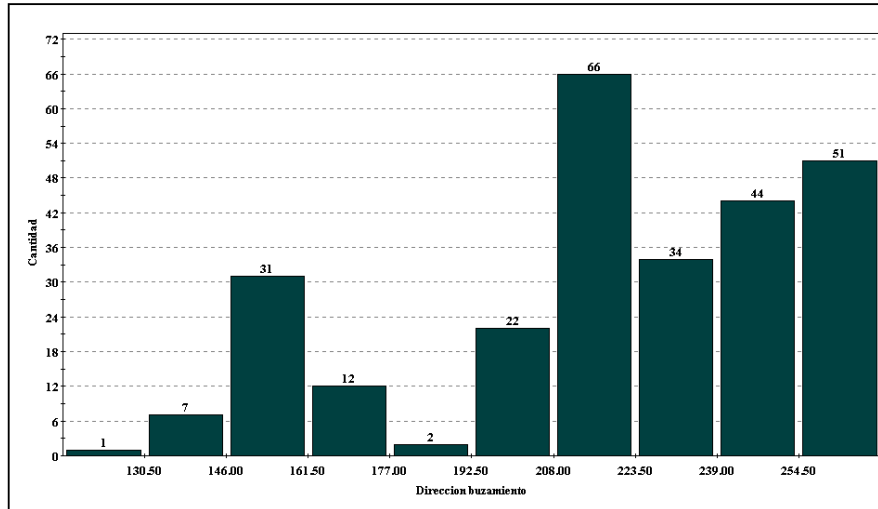
Para la descripción de las diferentes familias de discontinuidades y sus características ya nombradas se tomaron un total de 270 datos en la mina esperanza y de 221 en la mina zarzal.

(Ver cap.1, metodología-metodología geotécnica, toma de datos)

Orientación

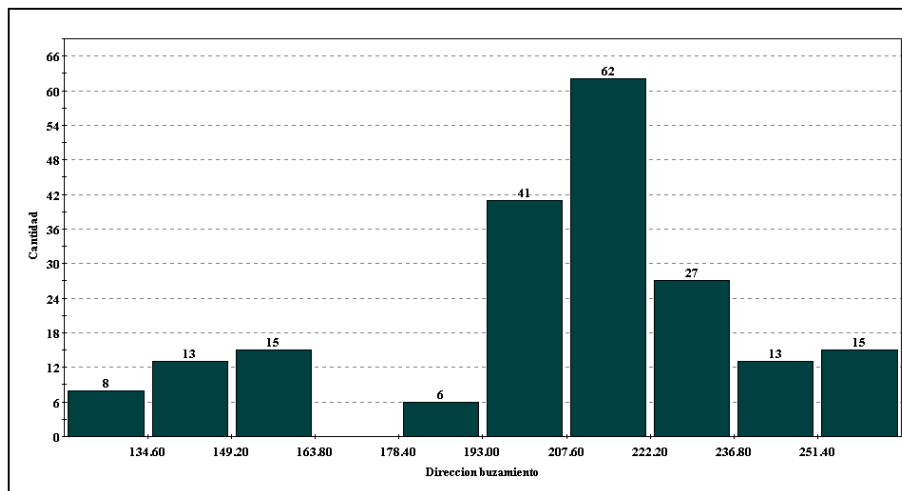
La Orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su buzamiento y su dirección de buzamiento. La determinación de la orientación media de cada familia se establece a partir de valores estadísticos representativos. La representación gráfica de las discontinuidades o de su orientación permite una visión general de la geometría de los conjuntos rocosos.

Figura 4 Orientación mina esperanza



(Autores Del Proyecto)

Figura 5. Orientación mina zarzal



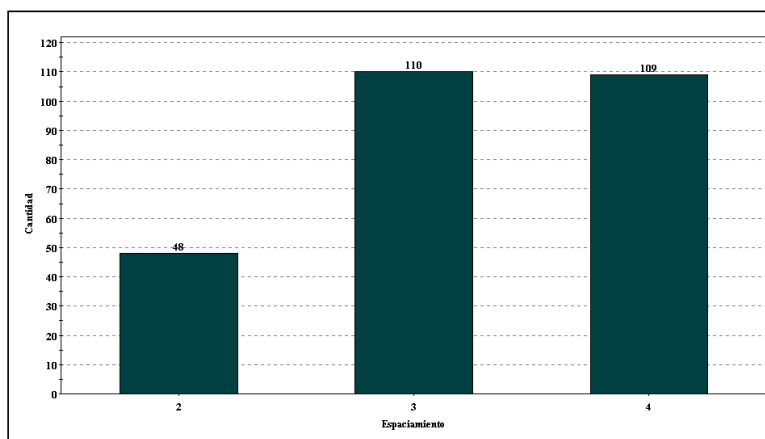
(Autores Del Proyecto)

Según los datos de frecuencia obtenidos de la dirección de buzamientos tomados de todas las discontinuidades de la zona de estudio, este presenta una orientación heterogénea. La orientación predominante en la mina esperanza corresponde a valores 208° y 223° pero también hay picos de distintos valores, mientras que la mina zarzal la orientación que predomina oscila entre 205° y 220°.

Espaciado

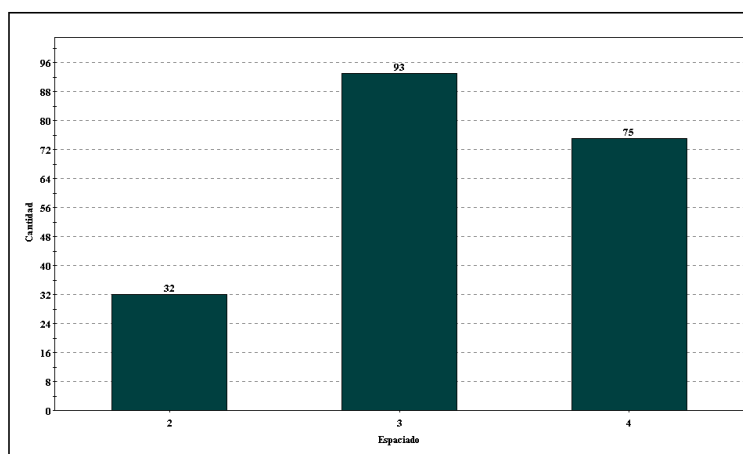
El espaciado es la distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidad de una misma familia. Influye en el comportamiento global del macizo rocoso y define el tamaño de los bloques de matriz rocosa que forman las diferentes familias.

Figura 6.Espaciado mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 7.Espaciado mina zarzal



(Autores del proyecto)

De los datos recogidos se ha establecido que el espaciado con mayor presencia en las dos minas es pequeño y en segundo régimen moderado

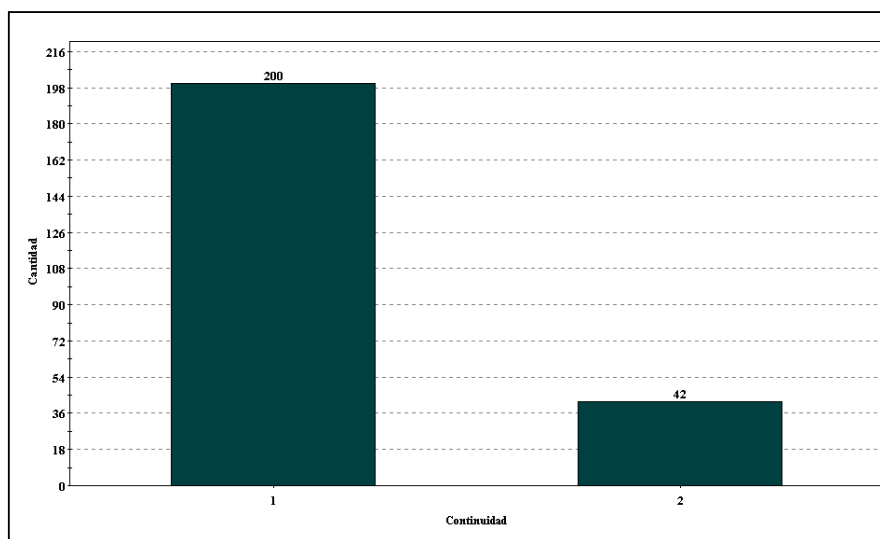
Tabla 11. Espaciado resultante

Descripción	Espaciado (m)	Id
Extremadamente pequeño	<0,02	1
Muy pequeño	0,02-0,06	2
<u>Pequeño</u>	<u>0,06-0,2</u>	<u>3</u>
Moderado	0,2-0,6	4
Grande	0,6-2	5

Continuidad.

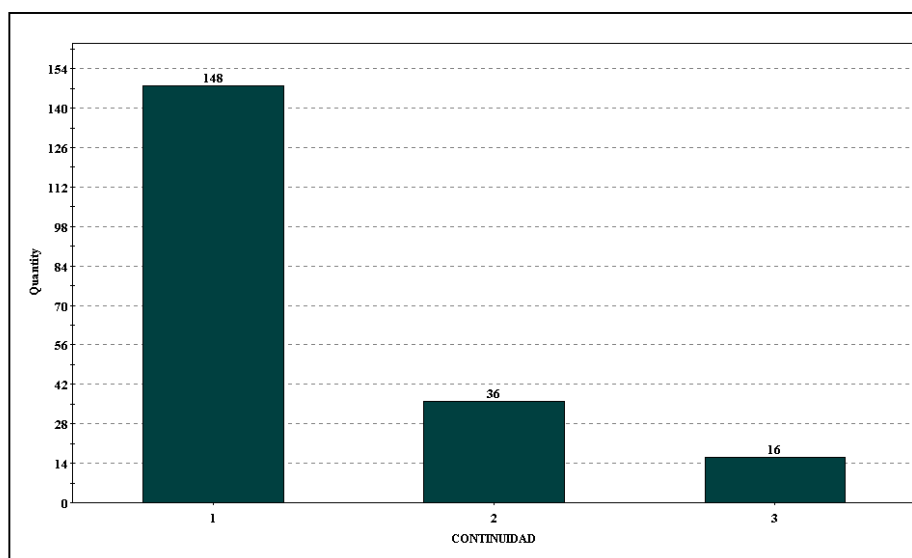
La continuidad es la extensión del plano de discontinuidad. Define en gran parte si la matriz rocosa va estar involucrada o no en los procesos de rotura del macizo rocoso, y en qué grado condiciona los parámetros resistentes del mismo.

Figura 8. Continuidad mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 9. Continuidad mina esperanza



(Autores del proyecto)

La continuidad en las dos minas del estudio con mayor presencia es muy baja.

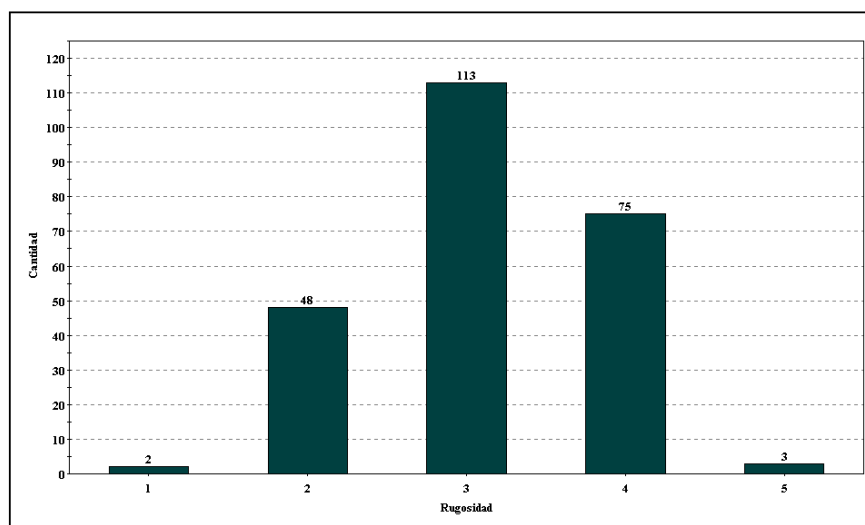
Tabla 12. Continuidad resultante

Descripción	Dimensión (m)	Id
<u>Muy baja continuidad</u>	<u>≤1</u>	<u>1</u>
Baja continuidad	1-3	2
Continuidad media	3-10	3
Alta continuidad	10-20	4
Muy alta continuidad	>20	5

Rugosidad

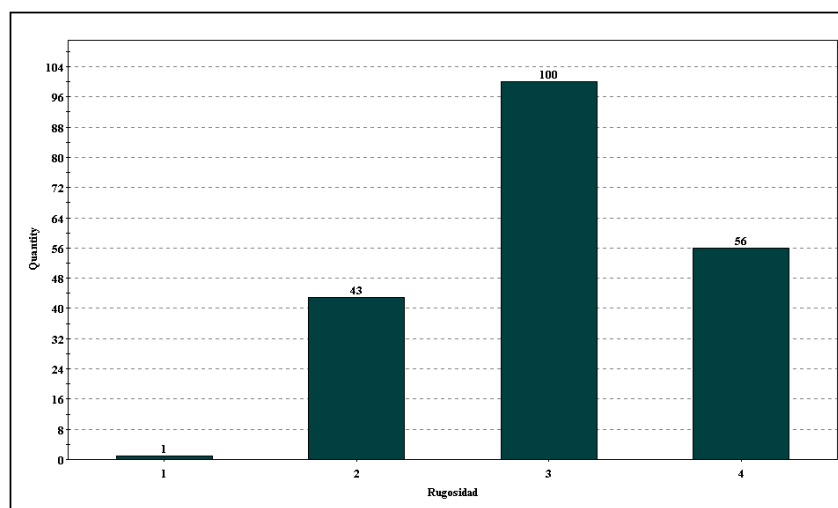
La rugosidad de un plano de discontinuidad determina su resistencia al corte. A mayor rugosidad mayor resistencia. La presencia de irregularidades dificulta el movimiento durante los procesos de desplazamiento tangencial por corte a favor de las discontinuidades.

Figura 10. Rugosidad mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 11. Rugosidad mina zarzal



(Autores del proyecto)

La característica más representativa en las minas en cuanto a rugosidad es, ligeramente rugosa, y en menor proporción ondulada y rugosa

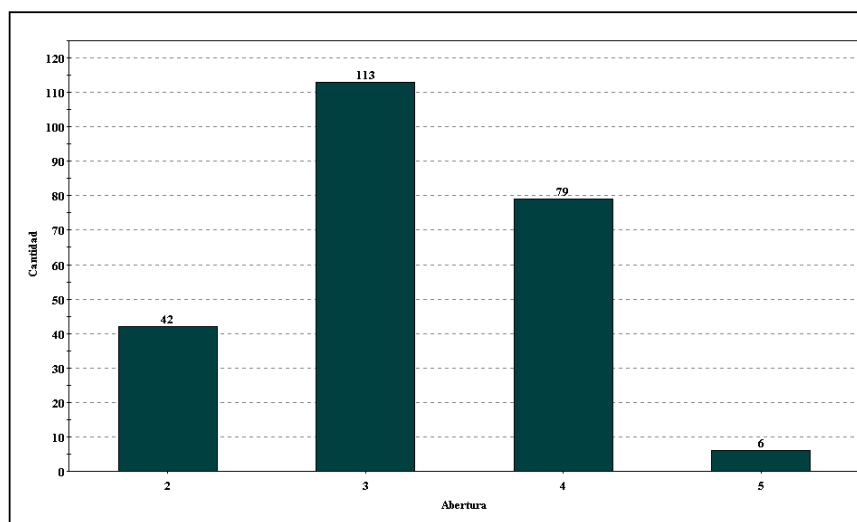
Tabla 13. Rugosidad establecida

Descripción	Id
Muy rugosa	1
Rugosa	2
<u>Ligeramente</u> <u>rugosa</u>	<u>3</u>
Ondulada	4
Suave	5

Abertura

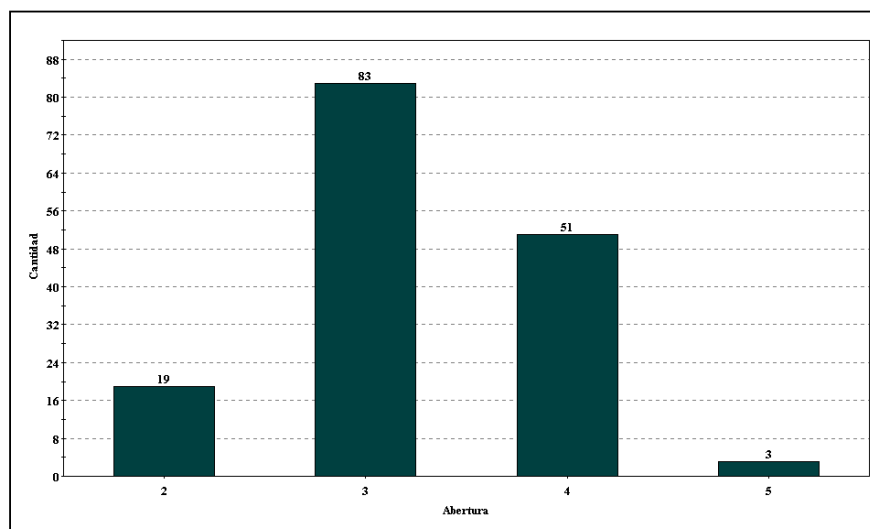
La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. mientras que en superficie la abertura puede ser elevada, al aumentar la profundidad esta se reduce, pudiendo llegar a cerrarse.

Figura 12. Abertura mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 13. Abertura mina zarzal



(Autores del proyecto)

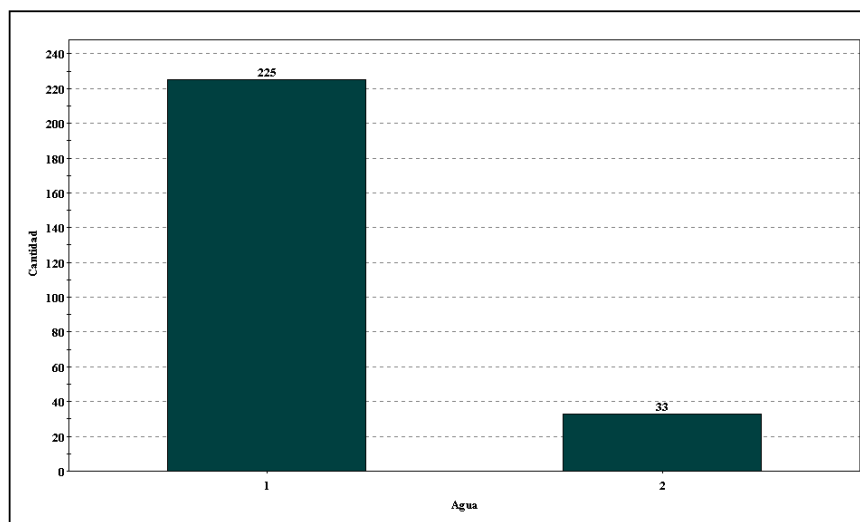
Tabla 14 Abertura resultante.

Descripción	Dimensión (cm)	Id
Cerrada	<0,01	1
Ligeramente abierta	0,01-0,1	2
<u>Abierta</u>	<u>0,1-0,5</u>	<u>3</u>
Muy abierta	>0,5	4
Extremadamente abierta	>1,0	5

Filtraciones

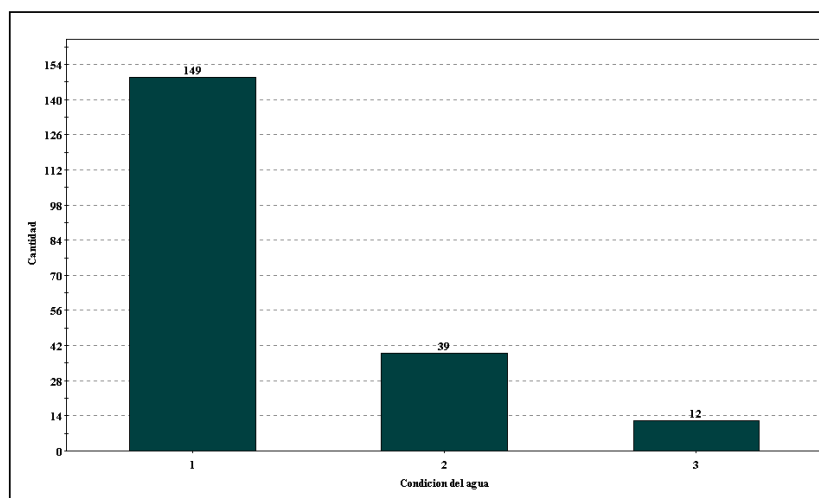
Las discontinuidades son el camino preferente para las filtraciones del agua en el macizo rocoso (permeabilidad secundaria). El agua rebaja la resistencia al corte al disminuir las tensiones efectivas actuantes sobre los planos de discontinuidades.

Figura 14.Filtración mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 15.Filtración mina esperanza



(Autores del proyecto)

La condición general de filtración en las dos minas es seca, como segundo régimen se tiene húmedo y de condición mojada solo se tienen puntos específicos en los cuales se evidencio.

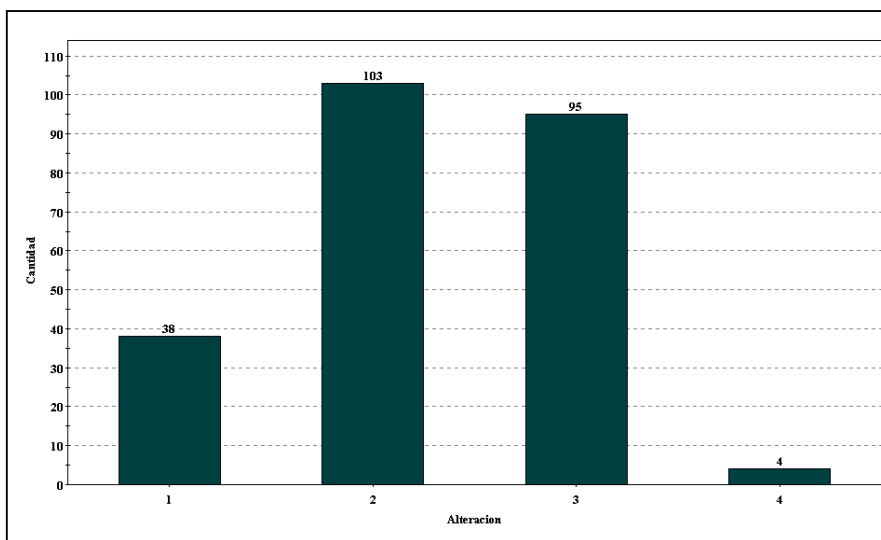
Tabla 15. Filtración resultante

Descripción	Id
<u>Seco</u>	<u>1</u>
Húmedo	2
<u>Mojado</u>	<u>3</u>
Goteando	4

Alteracion

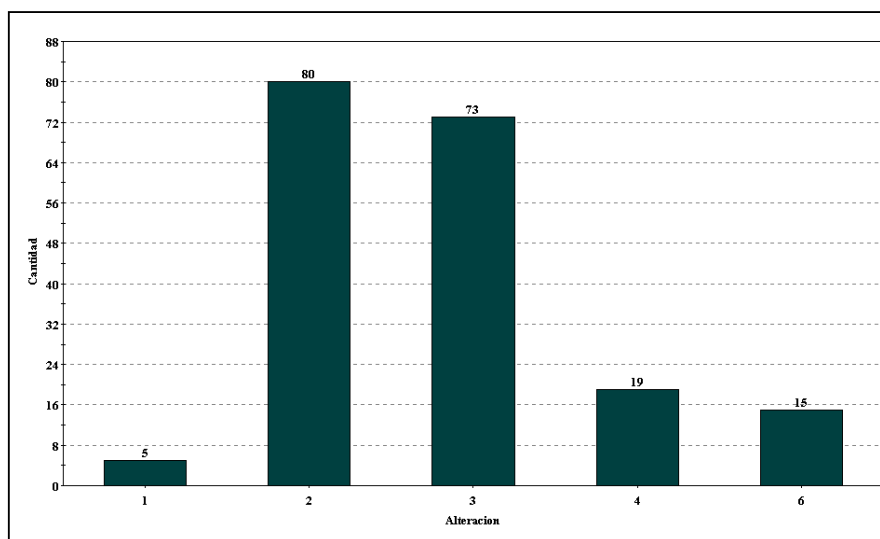
La alteracion del macizo rocoso propiamente dicho es el grado de meteorizacion o afectacion al cual ha sido expuesta la roca durante su vida geologica, por procesos de filtracion o ataques de otros agentes

Figura 16. Alteración mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 17. Alteración mina zarzal



(Autores del proyecto)

Tabla 16. Alteración establecida

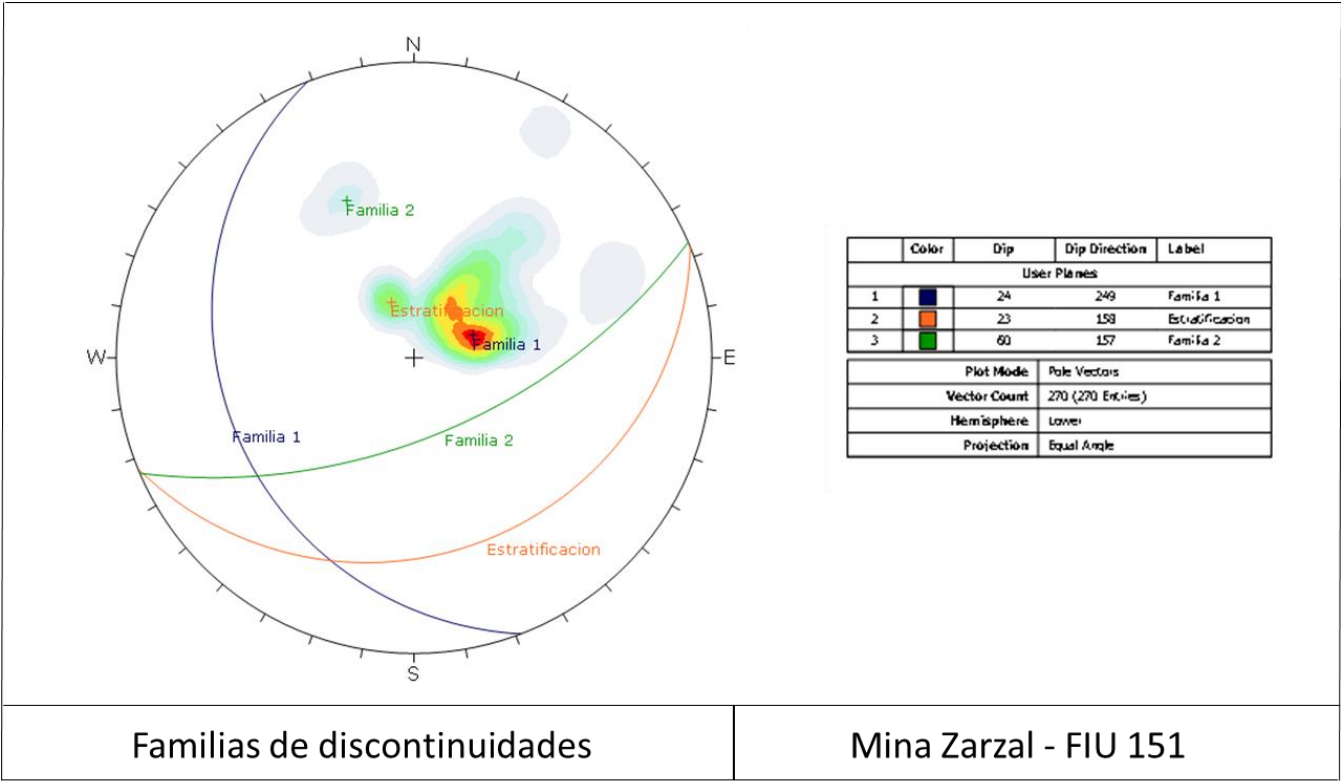
Descripción	Id
Fresco	1
<u>Ligeramente alterado</u>	<u>2</u>
Moderadamente alterado	3
Muy alterado	4

Analisis estereografico.

Con los datos estructurales y las características recolectadas para cada una de las minas, se realiza un analisis de las mismas mediante el programa DIPS en donde se caracteriza los datos por familia de discontinuidad y tambien el tipo de falla que alguna de esta pueda presentar. La presentacion del modelo se hace por mina.

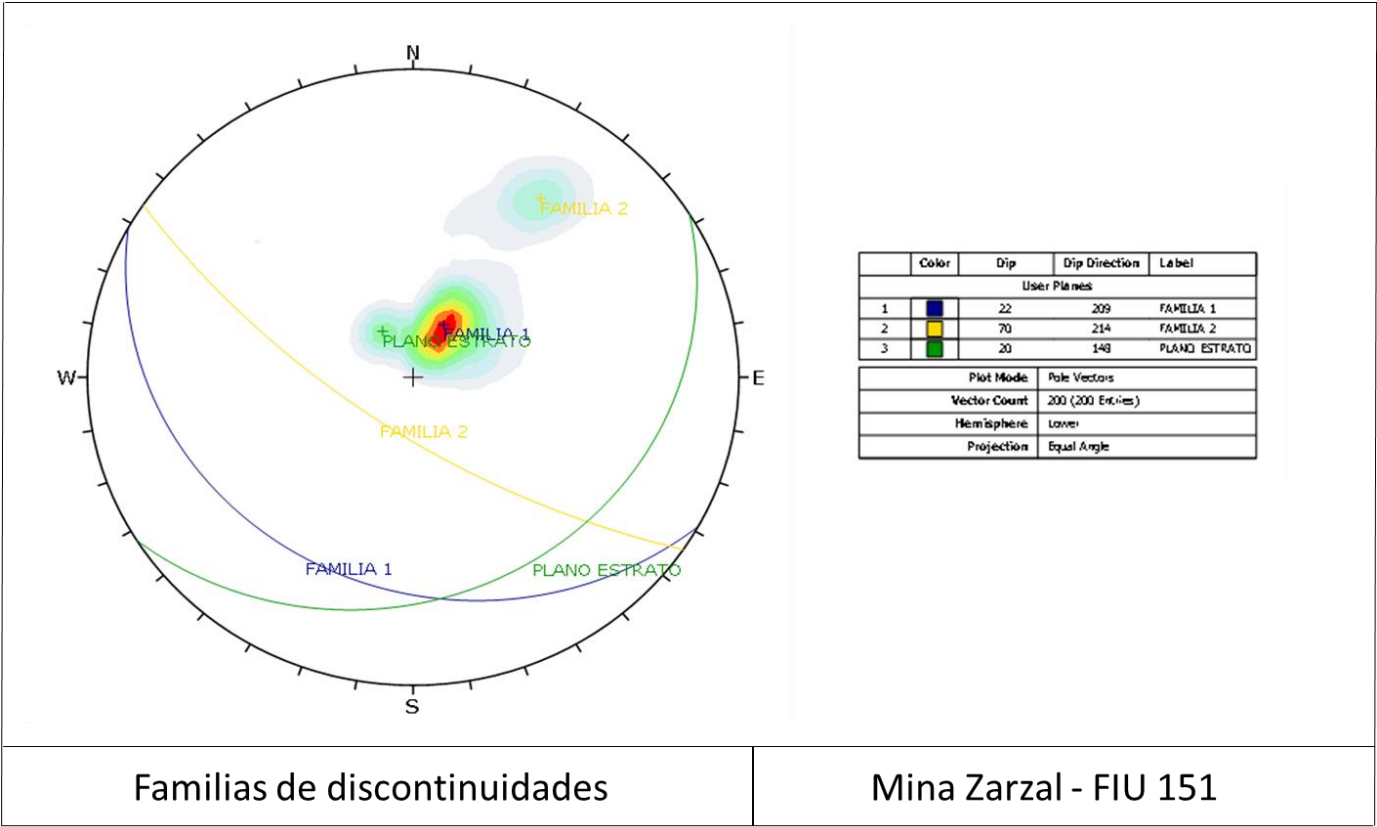
Clasificación de familias.

Figura 18.Diagrama de contornos y representaciones de familias, mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 19. Diagrama de contornos y representación de familias mina zarzal



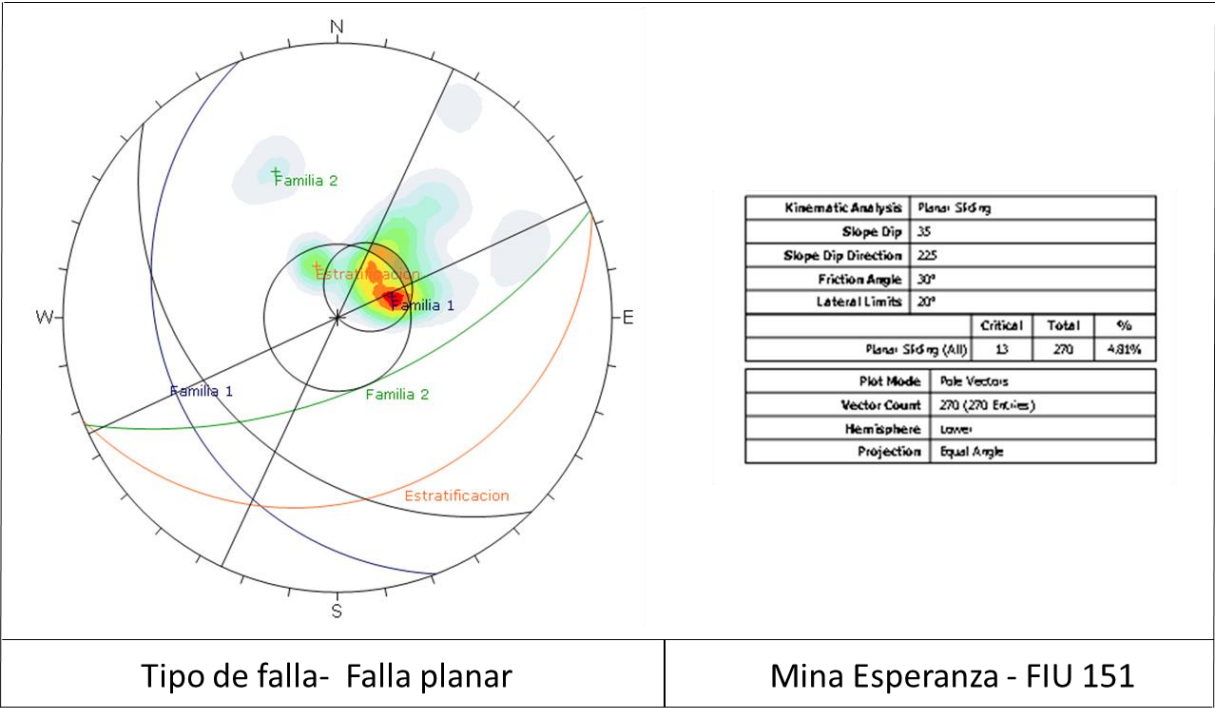
Familias de discontinuidades

Mina Zarzal - FIU 151

(Autores del proyecto)

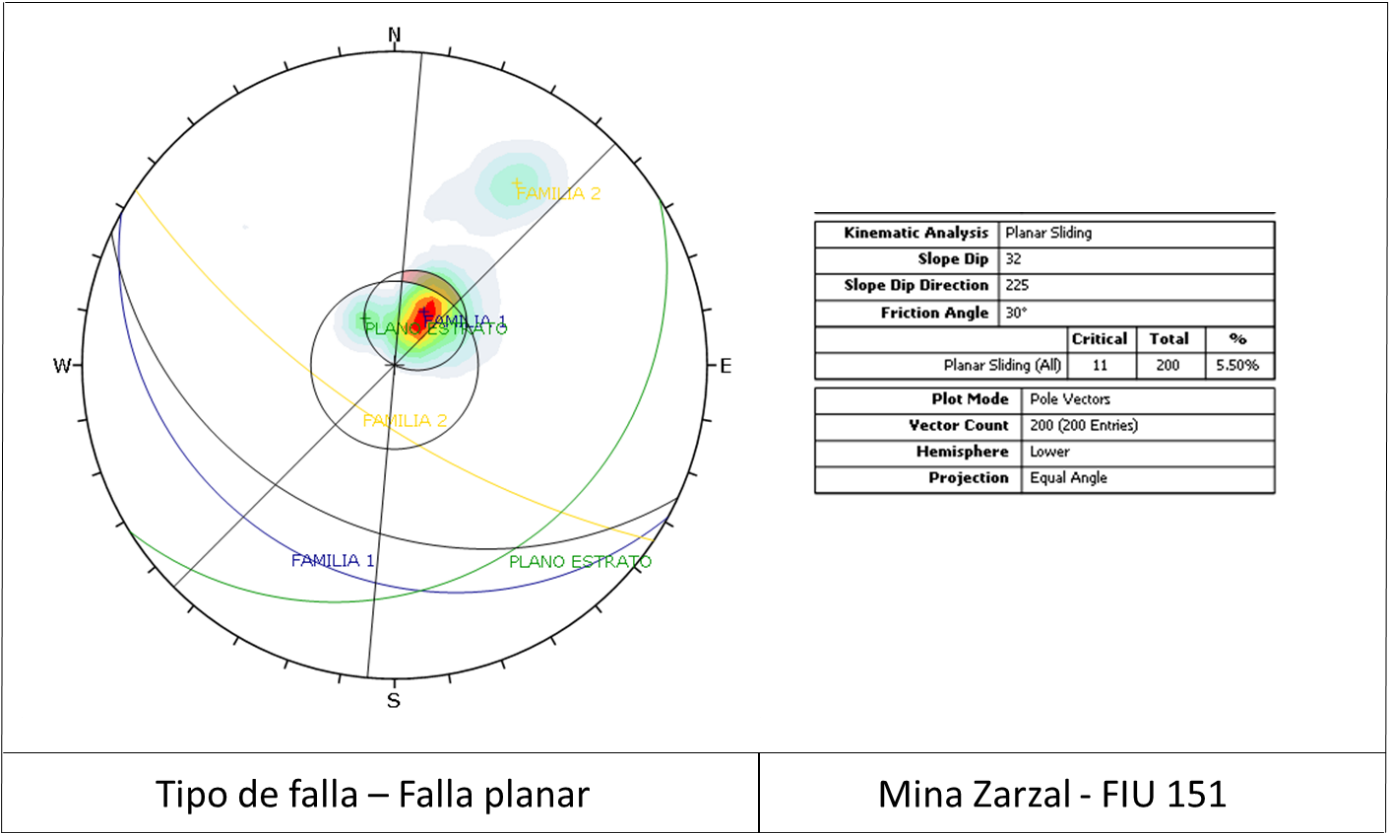
Tipo de falla

Figura 20.Diagrama plano de falla mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 21.Diagrama plano de falla mina zarzal



(Autores del proyecto)

Interpretación

Como se observa en las gráficas 20,21 se genera un área de riesgo para una falla planar. Para que esta falla ocurra alguna familia de discontinuidades debería caer dentro del área de riesgo, en los diagramas de cada una de las minas se observa que la familia que puede llegar a tener una falla de este tipo es la 1, ya que el buzamiento de esta familia es de 28 en promedio y el del talud es de 29 así cumple la condición para que se genere una falla de este tipo, la cual dice que el plano de rotura deberá tener un menor buzamiento del talud, caso contrario ocurre con la familia 2 porque el buzamiento de esta es de 32 superando al del talud.

El software muestra el análisis, donde ilustra que solo 17 polos de los 221 tomados en la mina zarzal quedan dentro del área de riesgo lo que quiere decir que la probabilidad de falla es del 8,50 % la cual se considera baja; para la mina esperanza la probabilidad de falla es menor solo del 4,81% con 13 puntos críticos de 270 tomados este valor también es considerado relativamente bajo.

Al tener en cuenta lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el macizo no presenta un riesgo significativo de falla planar, la dirección ante un posible desprendimiento producto de la misma es NE-SW en ambas minas. Con un rango de 10 grados de ampliación a cada lado.

Se destaca que se trabajó en el software la falla tipo cuña pero esta no muestra valores y sitios en donde pudiese presentarse, la única falla como ya se dijo que se pueda presentar (valores de posibilidad muy bajos) es la falla planar.

Clasificación geomecanica RMR

Desarrollado por Bieniawski, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR, que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- ❖ Resistencia de la matriz rocosa
- ❖ RQD
- ❖ Separación entre diaclasas
- ❖ Condición de las discontinuidades
- ❖ Agua
- ❖ Corrección por la orientación de las discontinuidades

RQD

Es el índice de calidad de la roca. Comprende el cálculo en función del número de fisuras por metro cúbico (J_v), determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural en el área o zona predeterminada de la operación minera. $RQD = 115 - (3,3) J_v$

Tabla 17. Ejemplo RQD

MINA ZARZAL LIMOLITA DE TECHO	
Ubicación	RQD
Inclinado	82,94
Guía 2 norte	91,90
Guía 2 sur	88,42
Guía 1 sur	84,75
Guía 1 norte	77,71
Promedio	85,14

Tabla 18. Resultados RQD para los distintos materiales

Mina	Material	RQD (%)
Zarzal	Limolita techo	85,14
	Carbón	80,25
	Limolita base	79,85
Esperanza	Limolita techo	88,12
	Carbón	81,25
	Limolita base	77,25

Tabla 19. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Lig. Alterada	Moderada alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Nivel freático	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10lt/mm	10 -25 lt/mm	25-125 lt/mm	>125 litros/mm		
		Relacion: presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Estado general	Seco	Lig Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Para clasificar el macizo rocoso mediante la metodología RMR se debe tener cada parámetro establecido e ir sumando los puntajes de cada uno de estos para obtener el puntaje general que dictara la clase y calidad de la roca, como particularidad esta metodología ofrece una corrección al puntaje general mediante la dirección de las discontinuidades.

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20° cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy Favorable	Favorable	Media	Desfa- vorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable
0	-2					

La clasificación se hizo por mina y esta a su vez para los materiales de techo, medio y base así se puede conocer el comportamiento en general del macizo en cuanto a cuestiones de calidad

Clasificación RMR mina Zarzal

Se clasificaron los materiales presentes en la mina: limolita techo, carbón y limolita base.

Tabla 20. Clasificación RMR limolita techo, mina zarzal

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACION
Ucs (Mpa)	25-5	2
RQD	75-90%	17
Espaciamiento	0,06-0,2m	8
Continuidad	<1m	6
Abertura	1-5mm	1
Rugosidad	Lig. Rugosa	3
Relleno	Relleno duro <5mm	4
Alteración	Lig. Alterada	5
Infiltración	Seco	15
Orientación	Favorable	-2
Total		59

Tabla 21. Clasificación RMR carbón, mina zarzal

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACION
Ucs (Mpa)	25-5	2
RQD	75-90%	17
Espaciamiento	0,06-0,2m	8
Continuidad	<1m	6
Abertura	0,1-1mm	3
Rugosidad	Lig. Rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Lig. Alterada	5
Infiltración	Seco	15
Orientación	Favorable	-2
Total		63

Tabla 22. Clasificación RMR Limolita base, mina zarzal

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACION
Ucs (Mpa)	25-5	2
RQD	75-90%	17
Espaciamiento	0,06-0,2m	8
Continuidad	1-3m	4
Abertura	1-5mm	1
Rugosidad	.rugosa	3
Relleno	Relleno duro <5mm	4
Alteración	Ligeramente alterada	4
Infiltración	Seco	15
Orientación	Favorable	-2
Total		57

Clasificación RMR mina Esperanza

Los tres materiales presentes se han clasificado como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 23. Clasificación RMR limolita techo, mina esperanza

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACION
Ucs (Mpa)	25-5	2
RQD	75-90%	17
Espaciamiento	0,2-0,6	10
Continuidad	<1m	6
Abertura	1-5mm	1
Rugosidad	Lig. rugosa	3
Relleno	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Moderadamente Alterada	3
Infiltración	Seco	15
Orientación	Favorable	-2
Total		57

Tabla 24. Clasificación RMR carbón, mina esperanza

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACION
Ucs (Mpa)	25-5	2
RQD	75-90%	17
Espaciamiento	0,06-0,2	8
Continuidad	<1m	6
Abertura	0,1-1mm	3
Rugosidad	Lig. rugosa	3
Relleno	Relleno duro <5mm	4
Alteración	Ligeramente Alterada	5
Infiltración	Seco	15
Orientación	Favorable	-2
Total		61

Tabla 25 . Clasificación RMR limolita base, mina .esperanza

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACION
Ucs (Mpa)	25-5	2
RQD	75-90%	17
Espaciamiento	0,06.0,2	8
Continuidad	1-3m	4
Abertura	1-5mm	1
Rugosidad	Lig. rugosa	3
Relleno	Relleno duro >5mm	2
Alteración	Ligeramente Alterada	5
Infiltración	Seco	15
Orientación	Favorable	-2
Total		55

Tabla 26. Resultado clasificación RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Angulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-60	3-4 kg/cm²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	< 1 kg/cm ²	>15°

Para los materiales limolíticos de techo y base de las dos minas se obtuvieron valoraciones RMR entre 55 y 60, así se puede decir que en general estos estratos del macizo rocoso se clasifica como clase III pero haciendo la aclaración que se acerca a la clase II , correspondiente a una calidad media y buena , ya que los valores obtenidos están en el límite de rango para estas dos calidades, los valores de cohesión están entre 2-3 kg/cm² y un ángulo de rozamiento aproximado de 25°-35°..

En el caso del carbón se clasifica como clase II, ya que la valoración obtenida fue 61 y 63 para los dos minas, la calidad es buena, con cohesión entre 3-4 kg/cm² y un ángulo de rozamiento en promedio de 35° - 45°.

Según los datos obtenidos se puede decir que en general haciendo un promedio de las calidades obtenidas para todos los materiales de las minas el macizo rocoso se clasifica como clase II, correspondiente a una calidad buena, esto se confirma con el análisis de discontinuidades donde la probabilidad de falla en el macizo es mínima además haciendo énfasis en la característica de filtración que es una de las que más tiene relevancia a la hora de hacer la clasificación, en general el macizo se comporta de una manera seca.

Capítulo 6

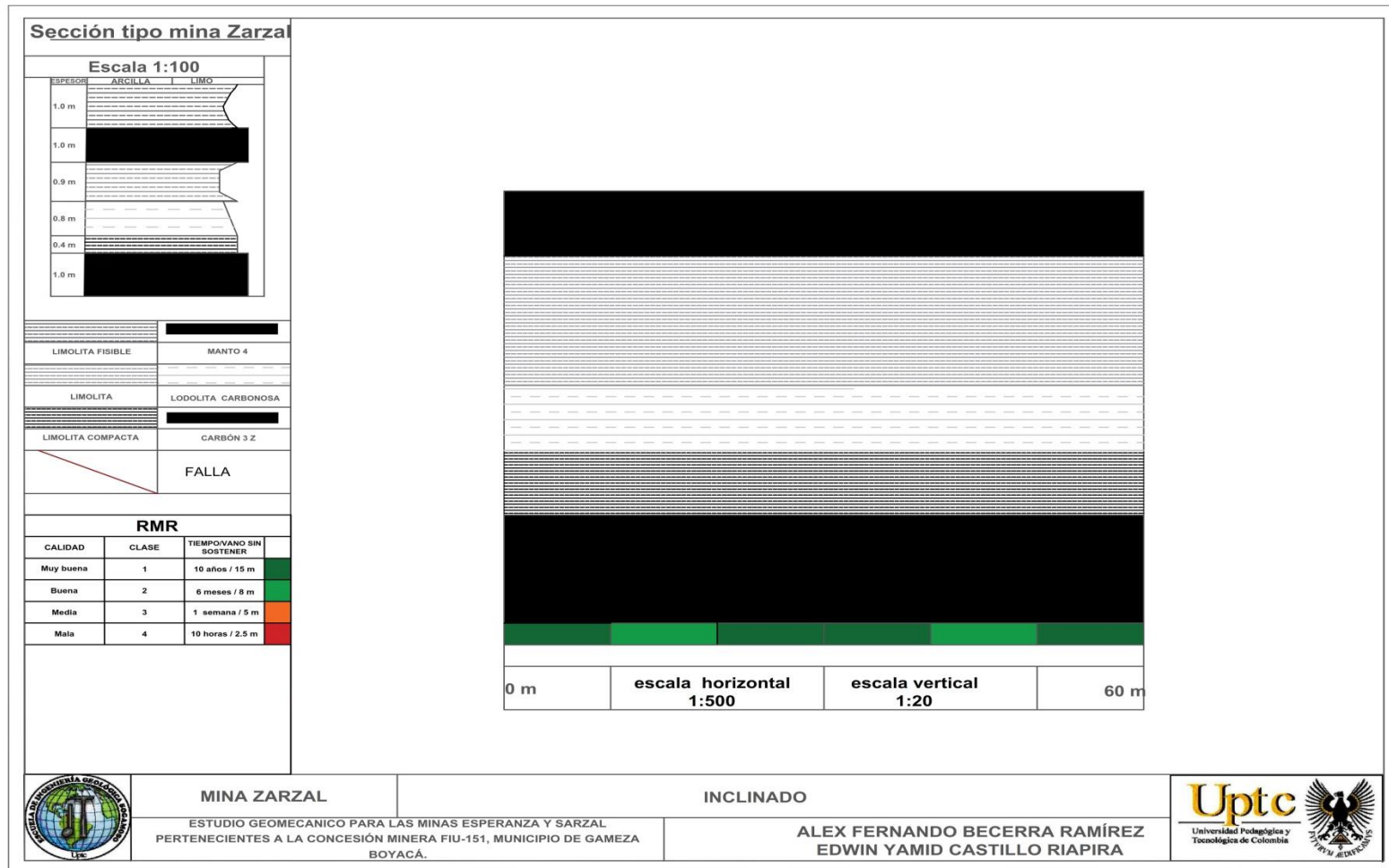
Modelo Geológico-Geotécnico

A partir de los registros geológicos y clasificación geotécnica se realizaron modelos 2D para cada mina, donde se encuentran esquematizados inclinados y guías, este modelamiento de información permitió generar una serie de productos, de esta manera se obtuvieron:

- Mapa de Geología Superficial (anexo A.1),
- Mapa fallas de cada mina (anexo A.3)
- Mapa de Susceptibilidad RMR (anexo C.3), todos a escala 1:500.
- Modelos individuales de cada una de las guías e inclinados

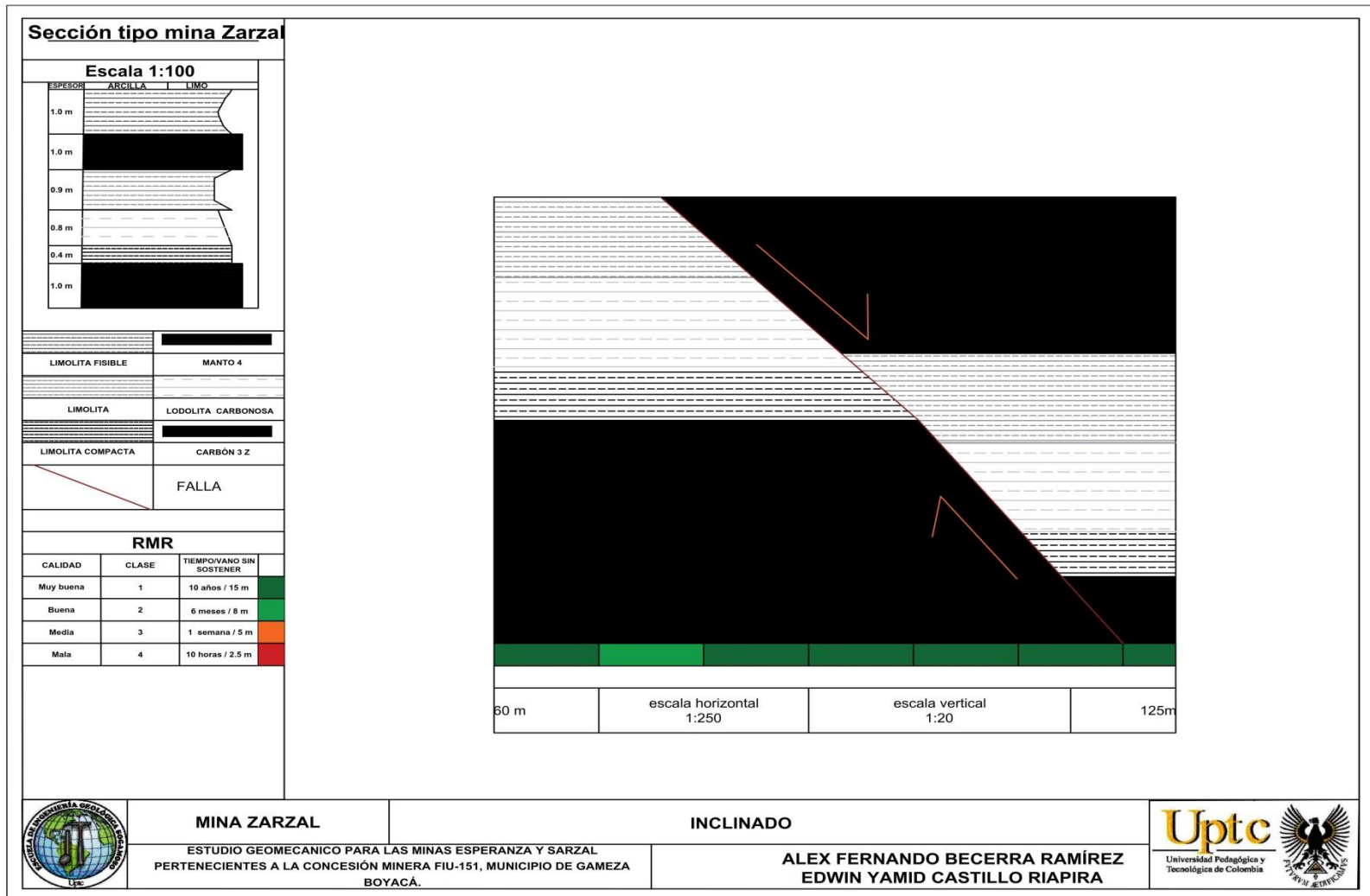
Modelamiento 2d mina zarzal

Figura 22. Inclinado sección 1 mina zarzal



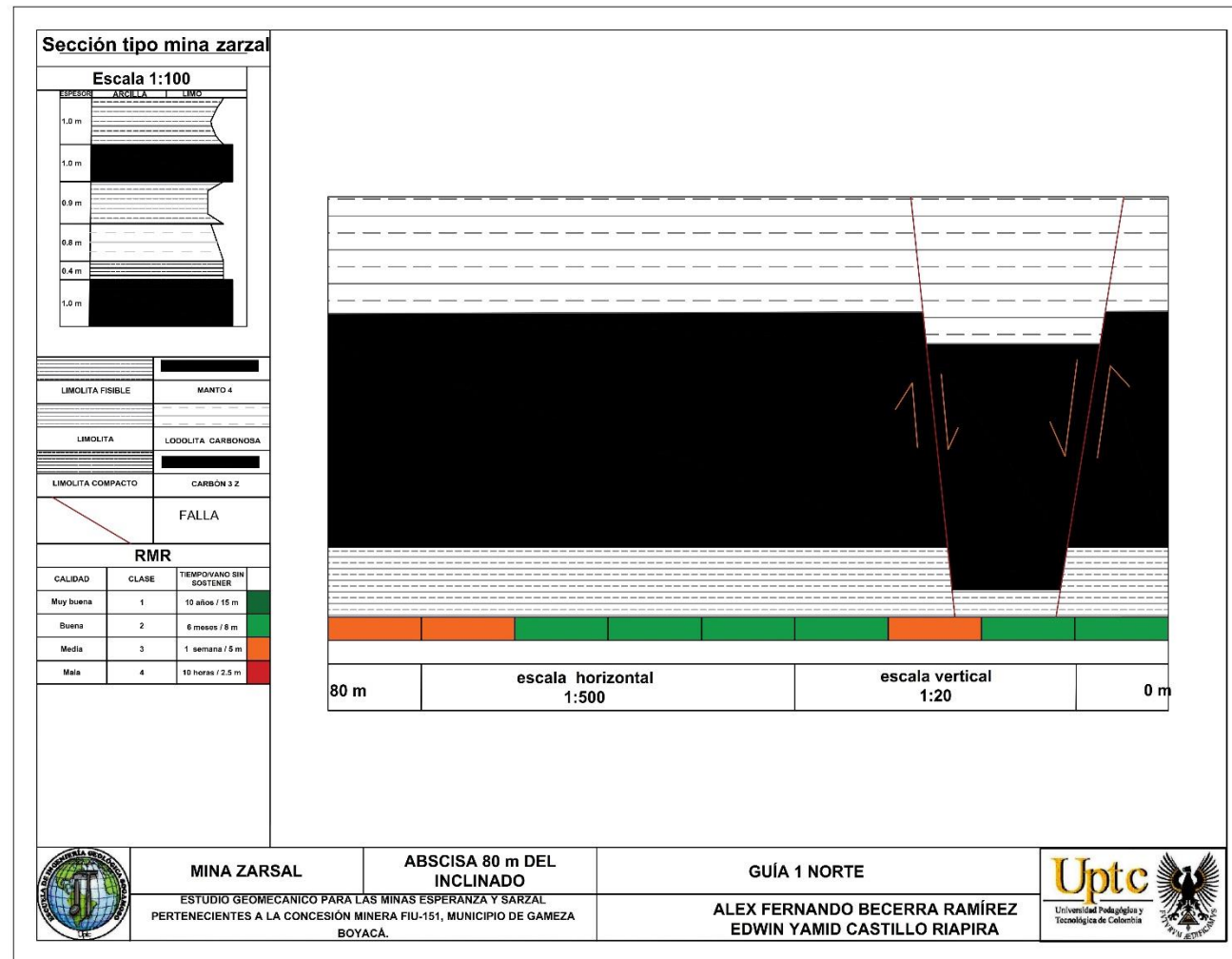
Secto1 inclinado 0-60 m mina zarzal

Figura 23. Inclinado sección 2 mina zarzal



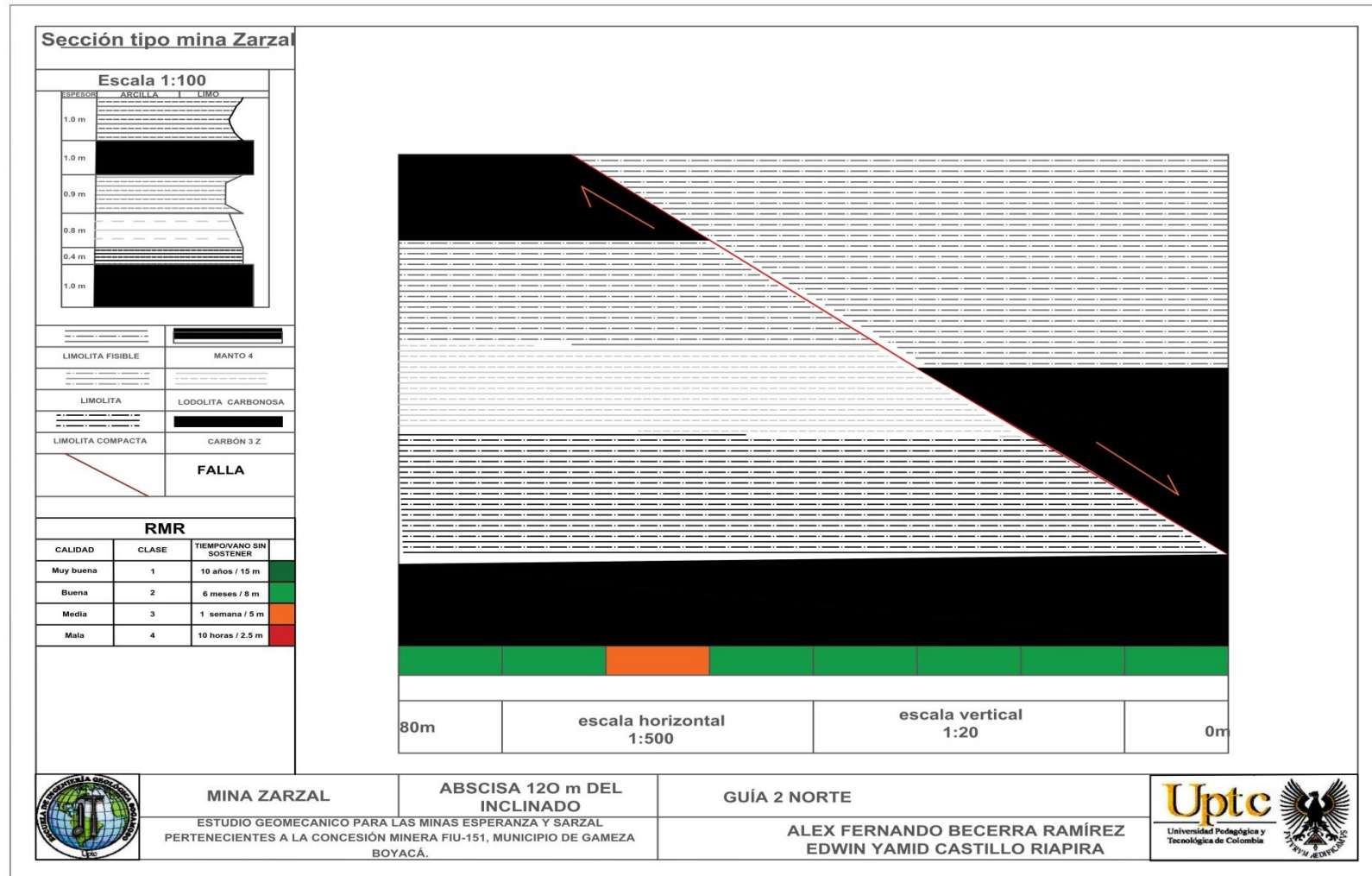
Sector 2 inclinado 60-125m mina zarzal

Figura 24. Guía 1 norte mina zarzal



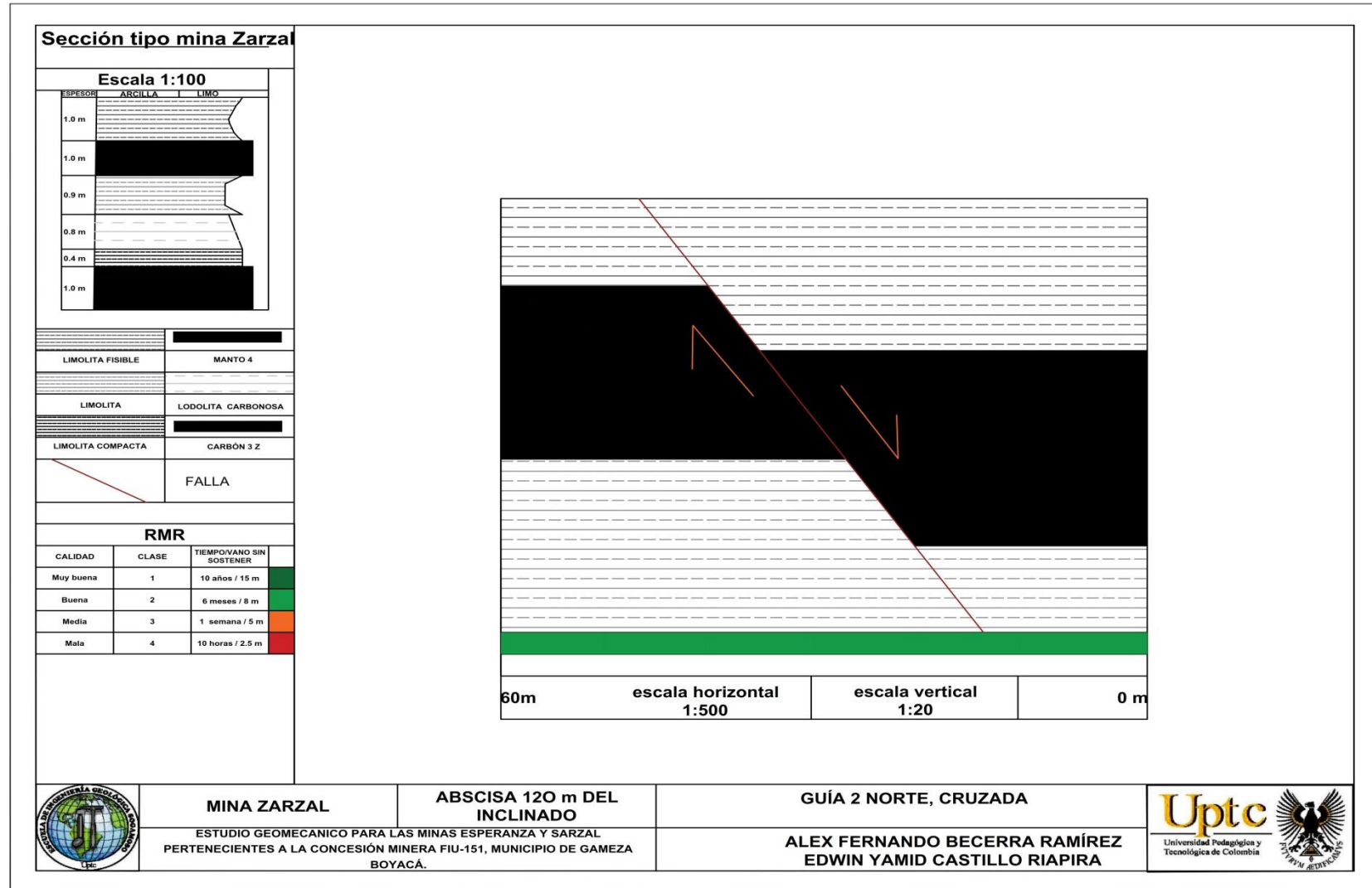
Litologías de la guía, así como las fallas que intervienen. Se observa como la calidad del macizo disminuye cerca de las fallas (propia)

Figura 25. Guía 2 norte mina zarzal



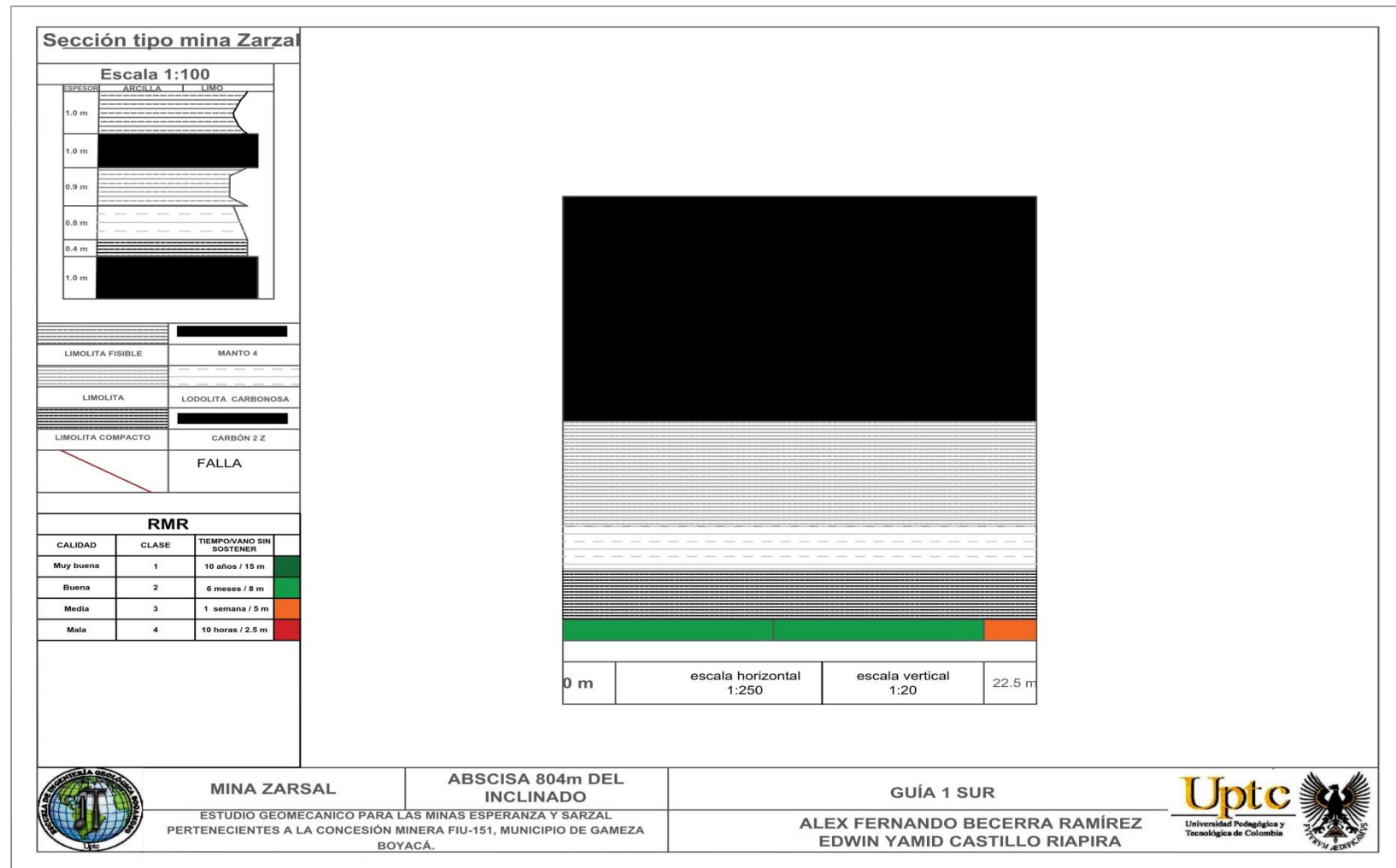
Fallamiento perdida de continuidad lateral

Figura 26. Guía 2 norte cruzada, mina zarzal



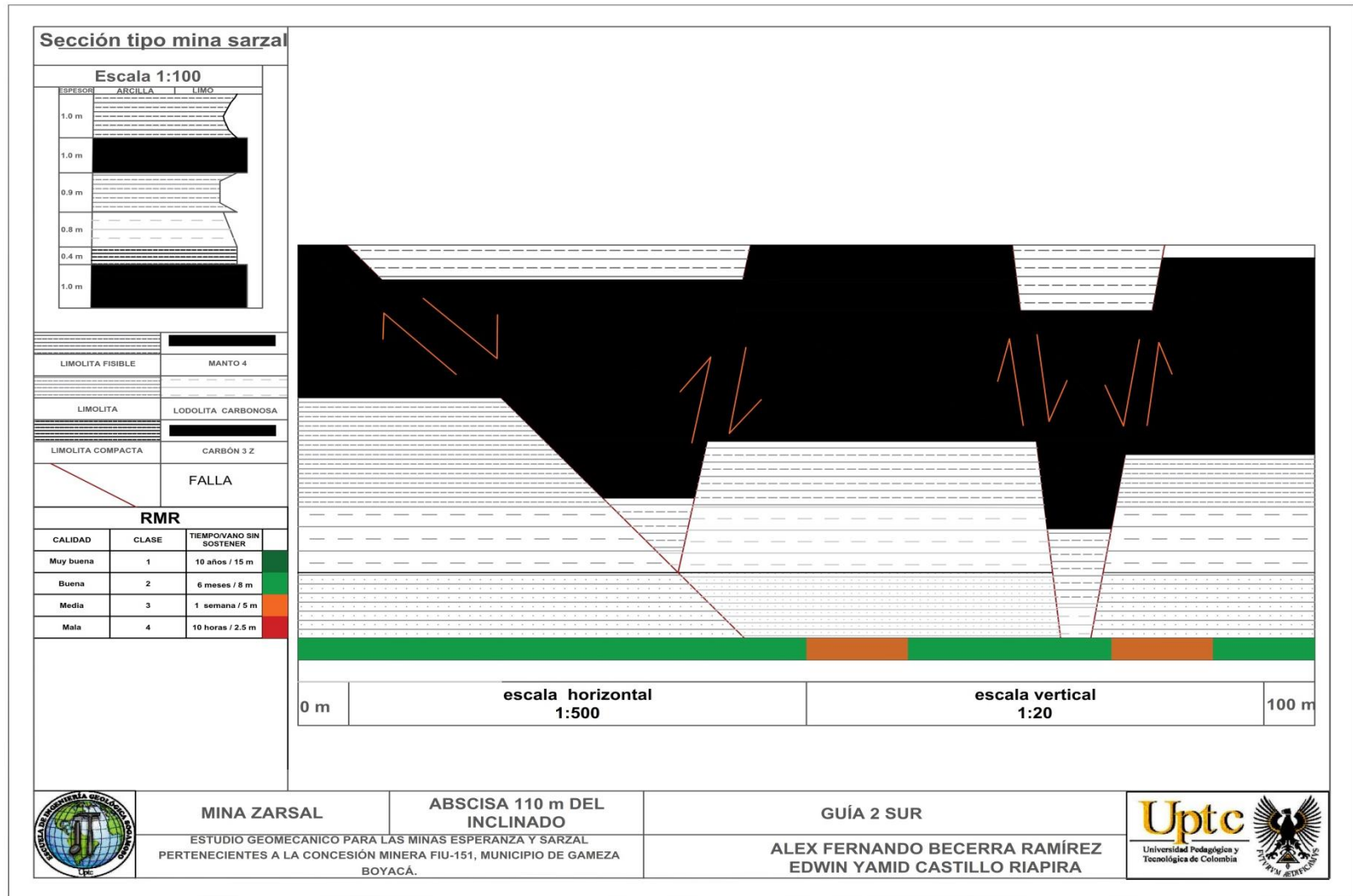
(Autores del proyecto)

Figura 27. Guía 1 sur, mina zarzal



Continuidad litológica, calidad del macizo rocoso (autores del proyecto)

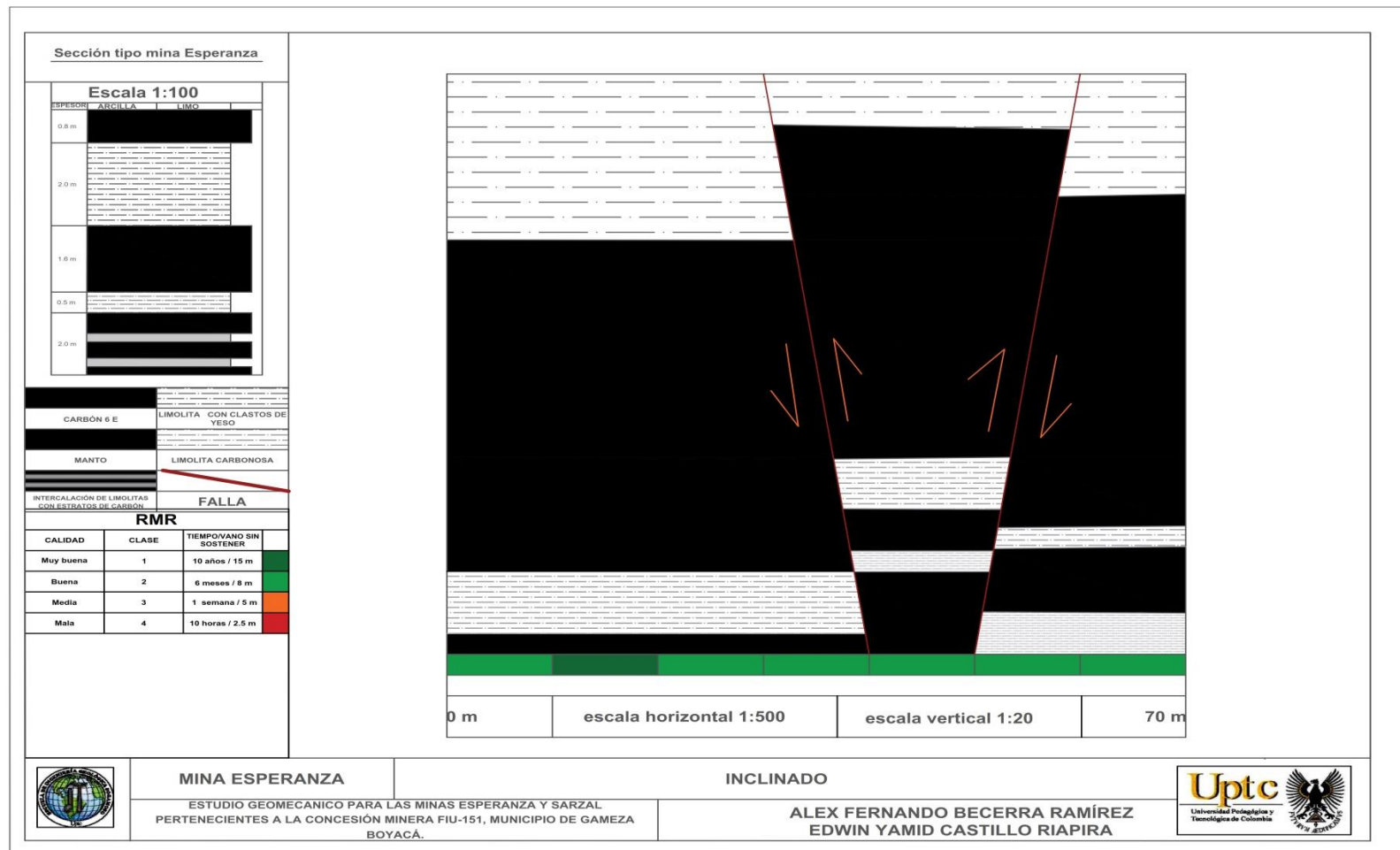
Figura 28. Guía 2 sur, mina zarzal



Perdida de continuidad litológica por diferentes fallas, calidad media del macizo (autores del proyecto).

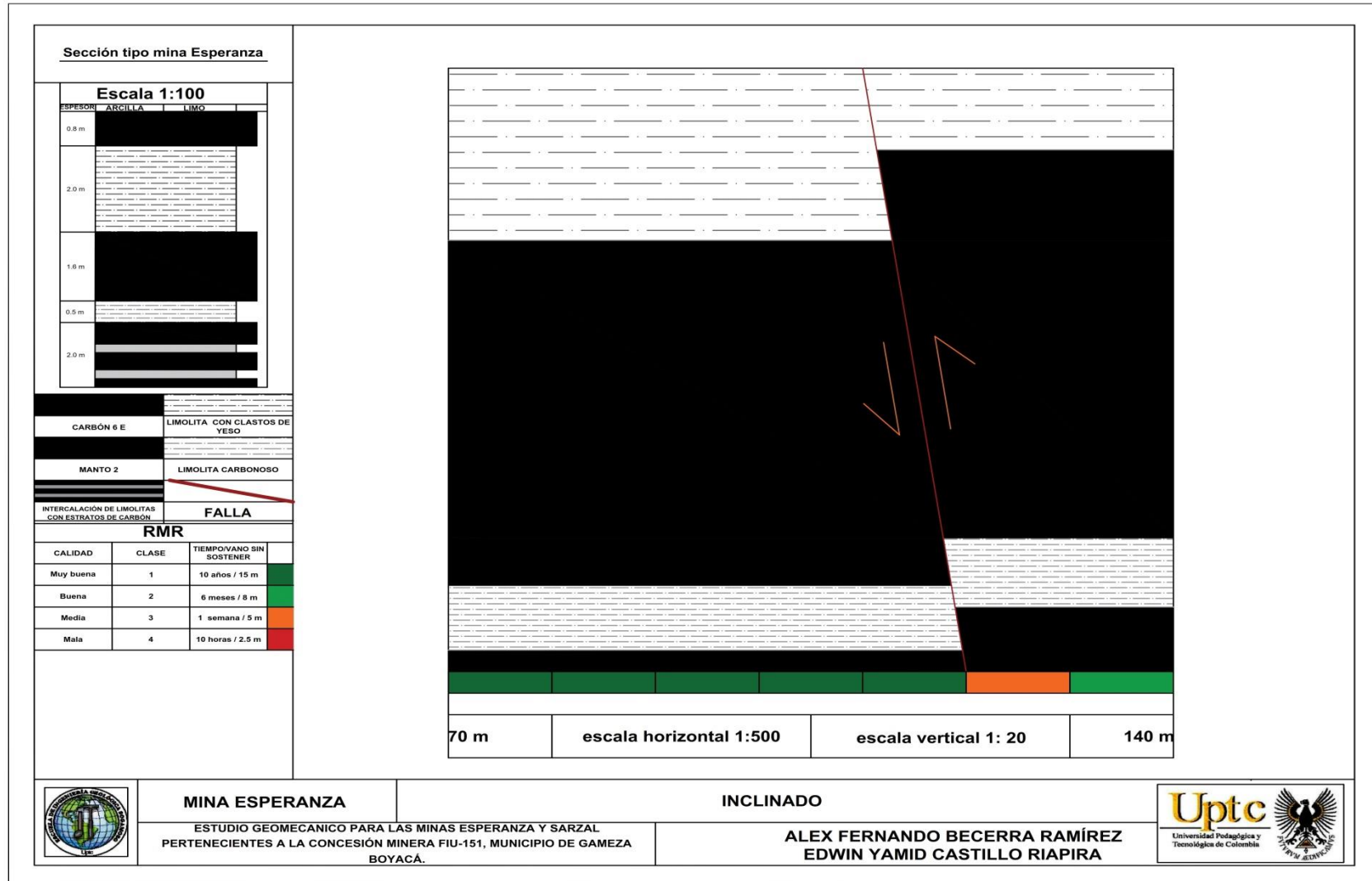
Modelamiento 2d mina esperanza

Figura 29. Inclinado sección 1 mina esperanza.



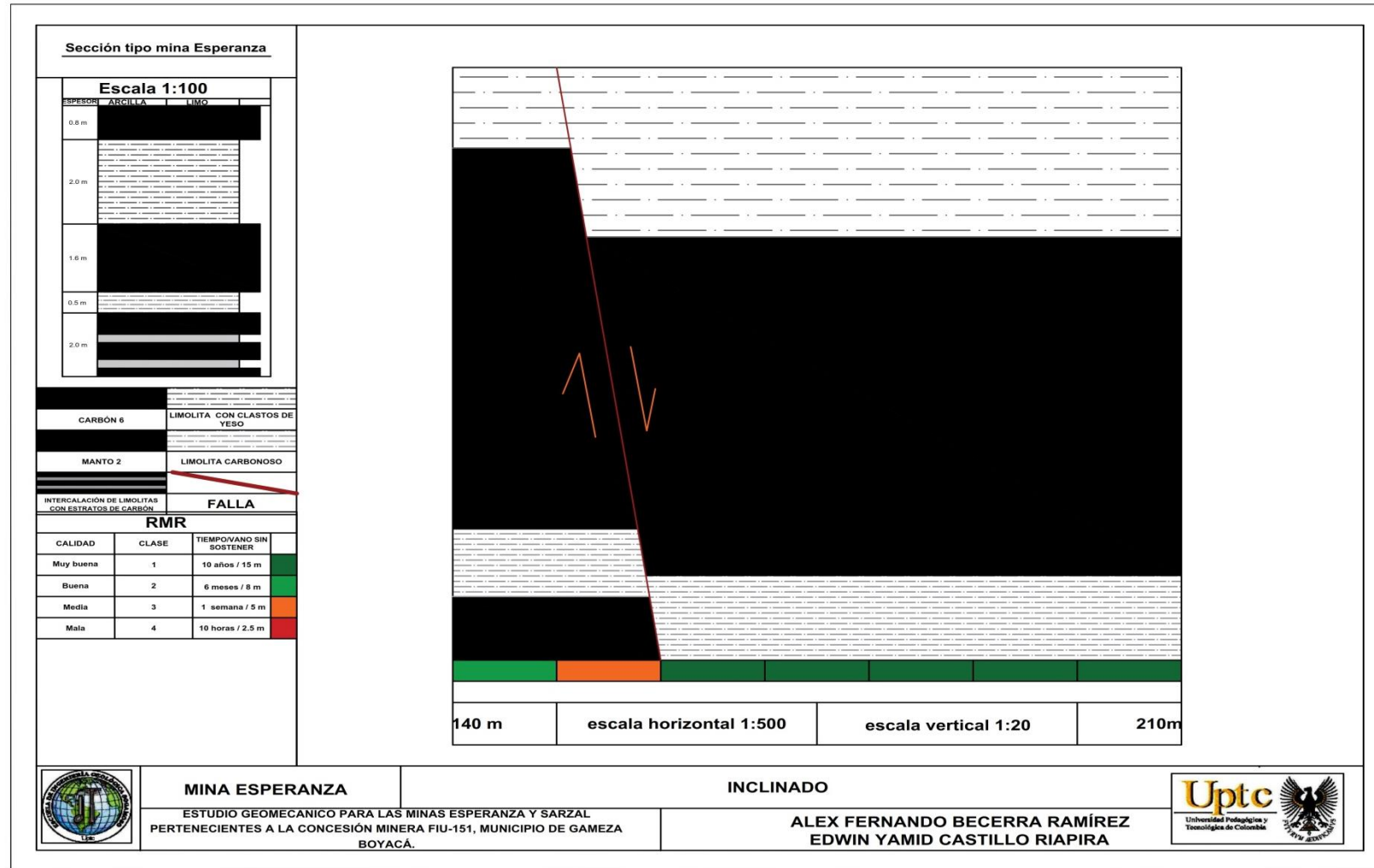
Sector 1 inclinado 0-70m mina zarzal (autores del proyecto)

Figura 30. Inclinado sector 2, mina esperanza



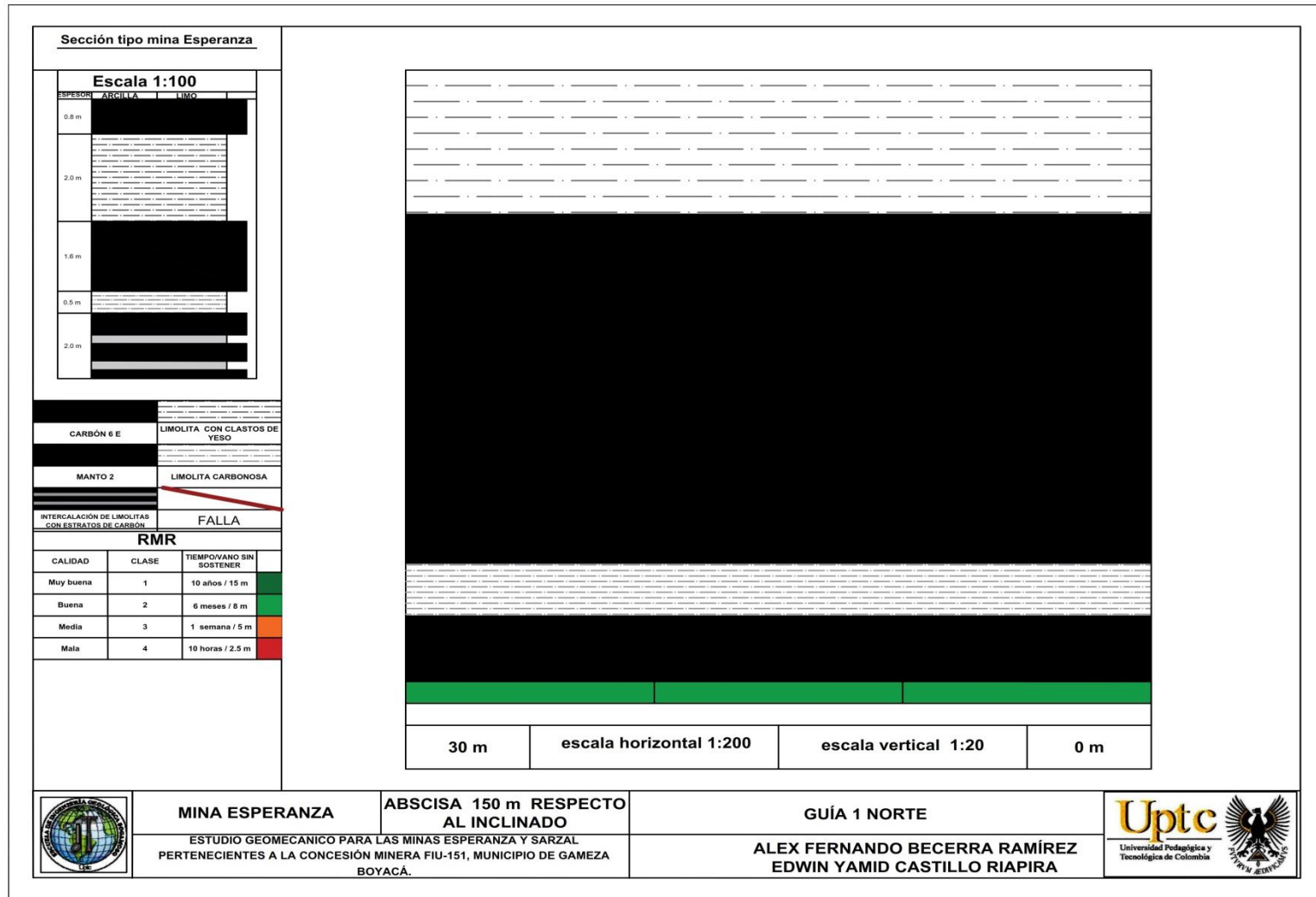
Sector 2 inclinado (70-140 metros) mina zarzal (autores del proyecto)

Figura 31. Inclinado sector 3, mina esperanza



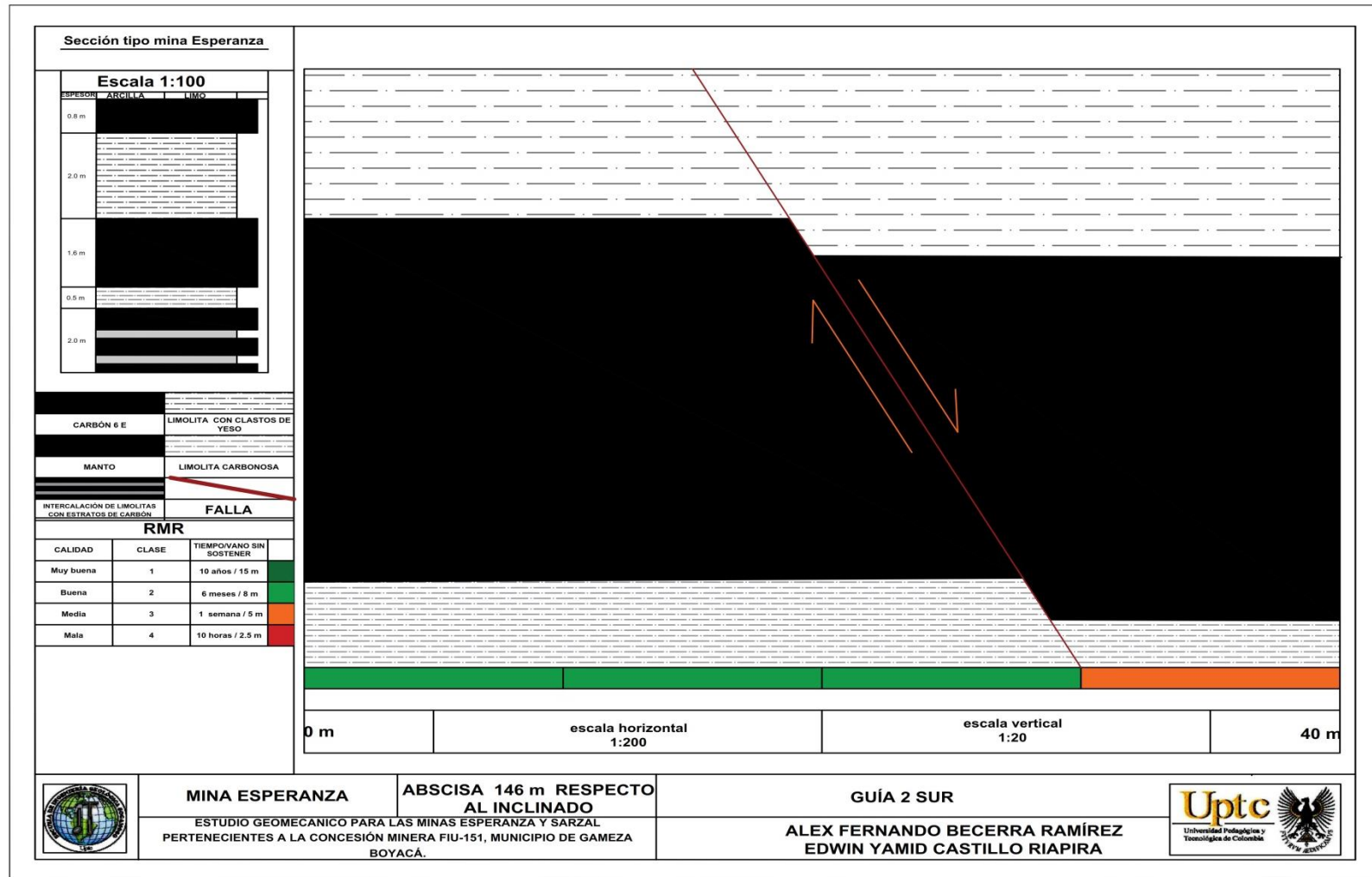
sector inclinado (140-210 metros) mina zarzal, calidad media cerca a las fallas(autores del proyecto)

Figura 32. Guía 1 norte, mina esperanza



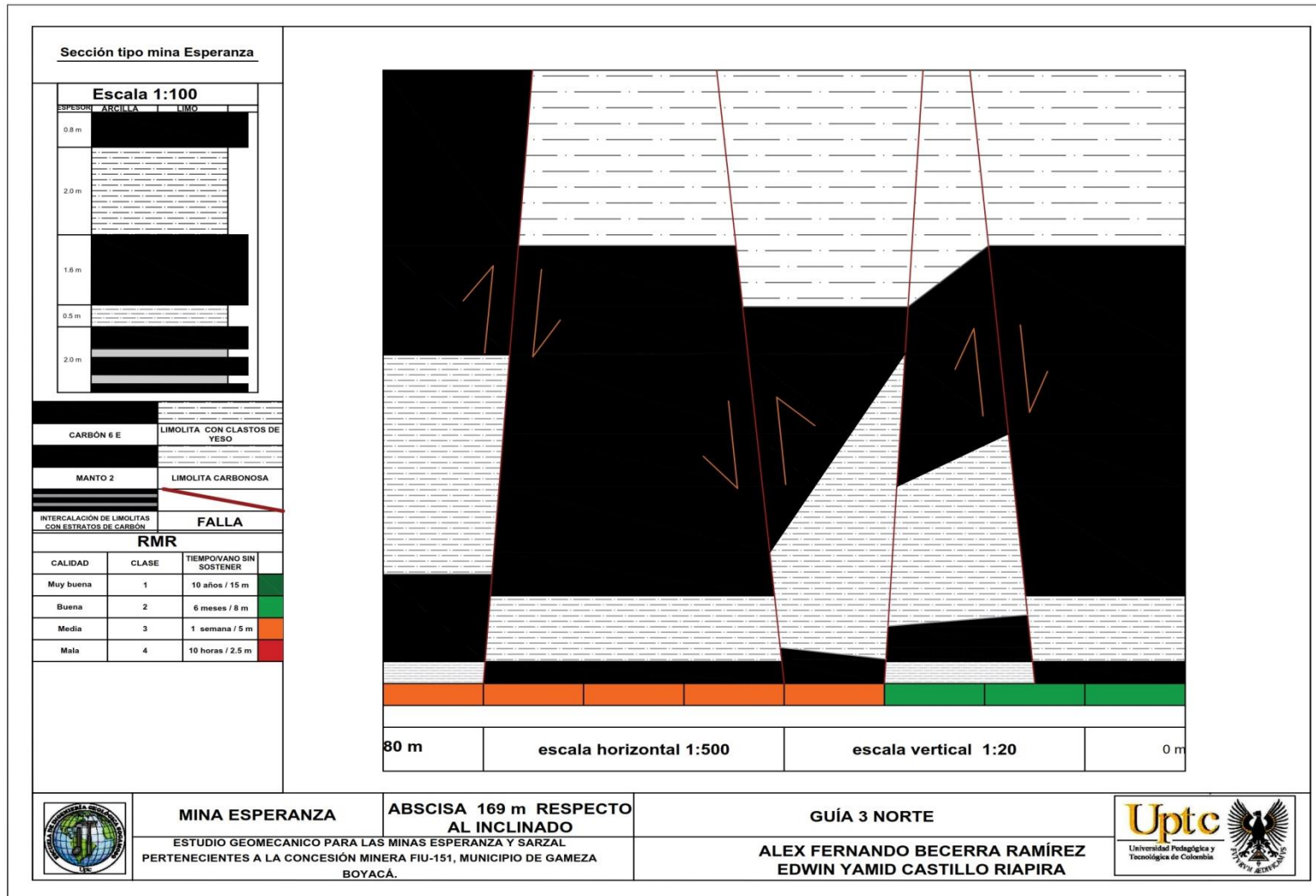
(Autores del proyecto)

Figura 33. Guía 2 norte mina esperanza



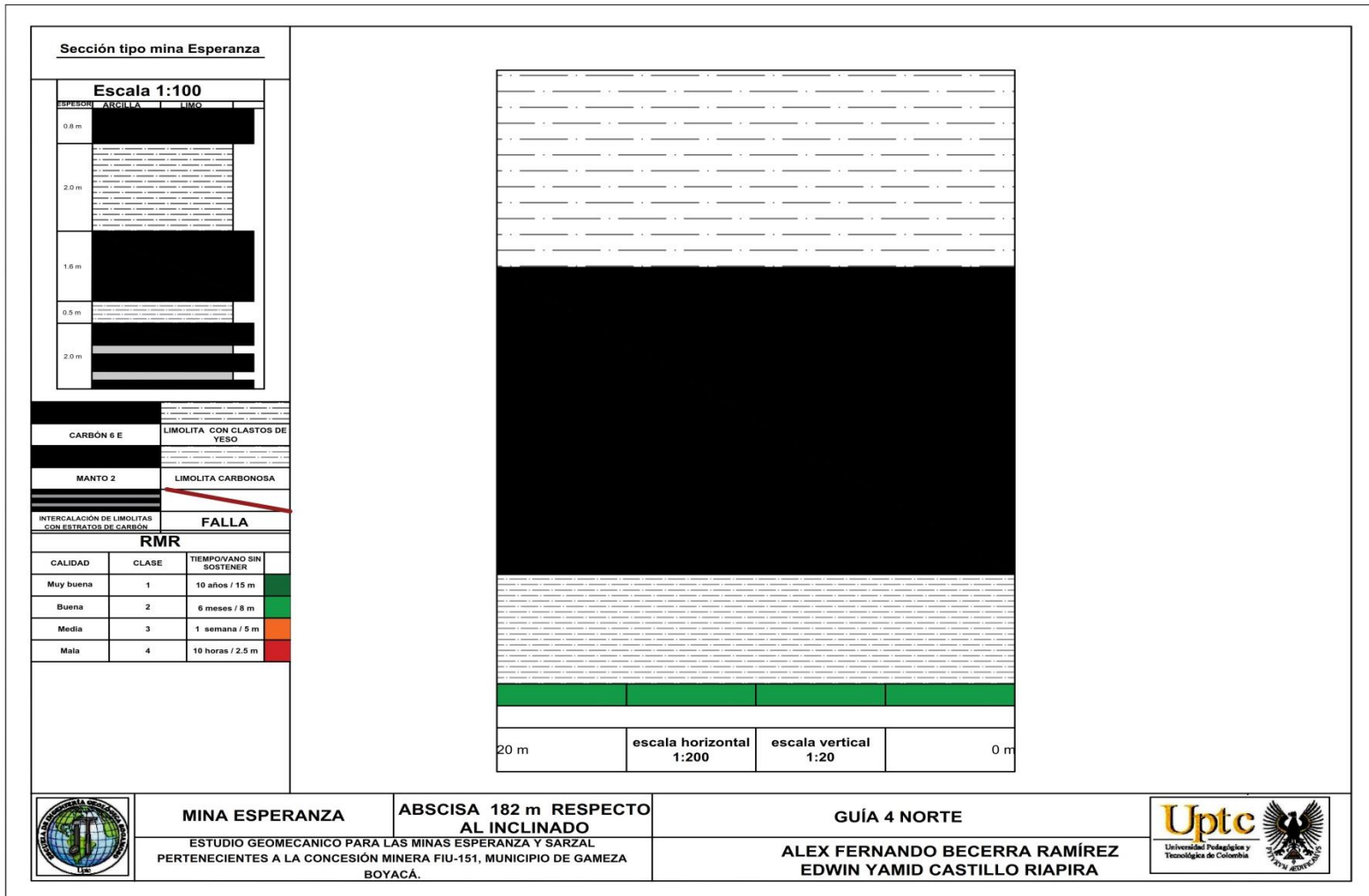
Calidad media cerca a las fallas (Autores del proyecto)

Figura 34. Guía 3 norte, mina esperanza



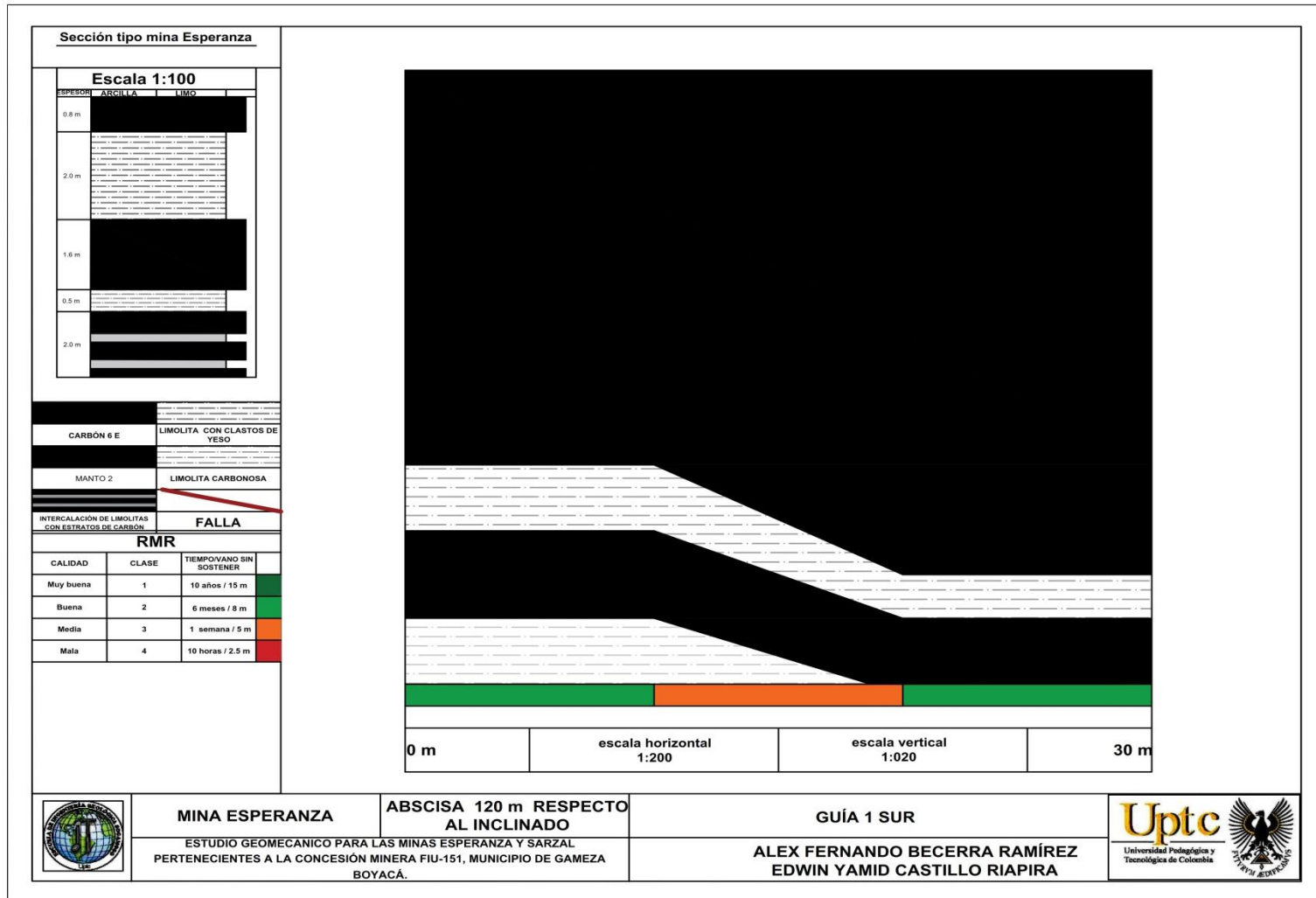
(Autores del proyecto)

Figura 35. Guía 4 norte, mina esperanza



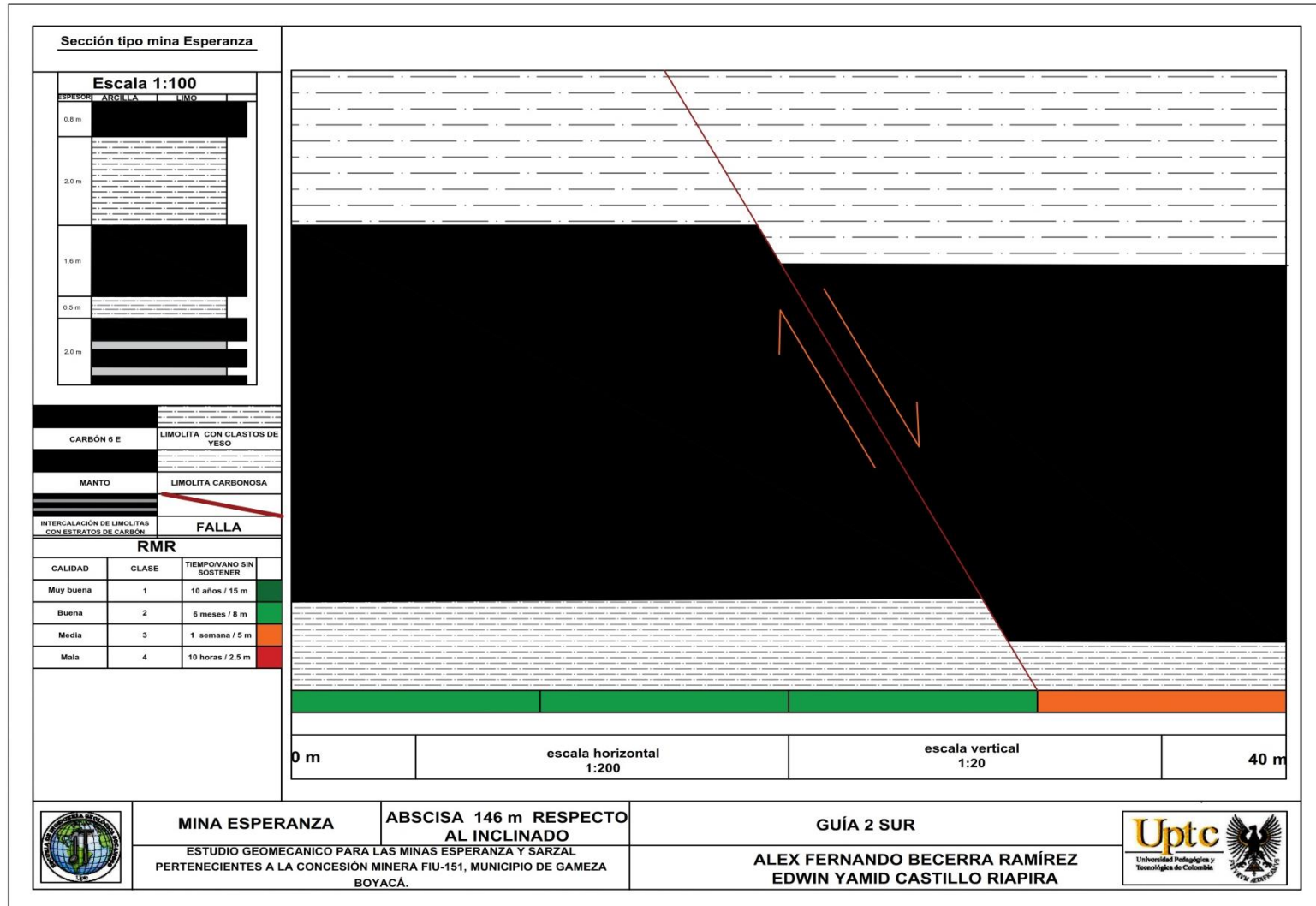
Continuidad litológica, calidad del macizo (Autores del proyecto).

Figura 36. Guía 1 sur, mina esperanza



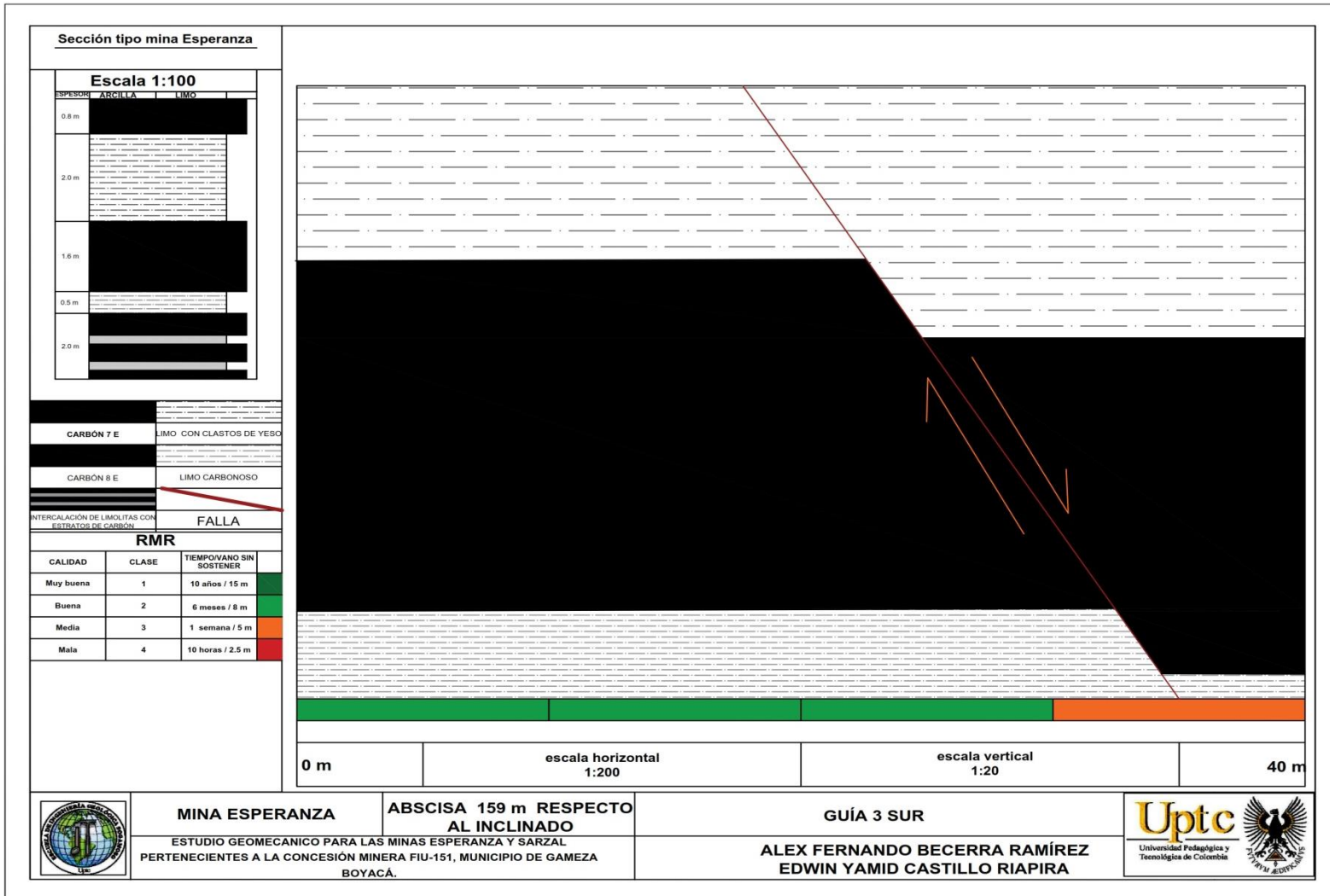
(Autores del proyecto)

Figura 37. Guía 2 sur, mina esperanza



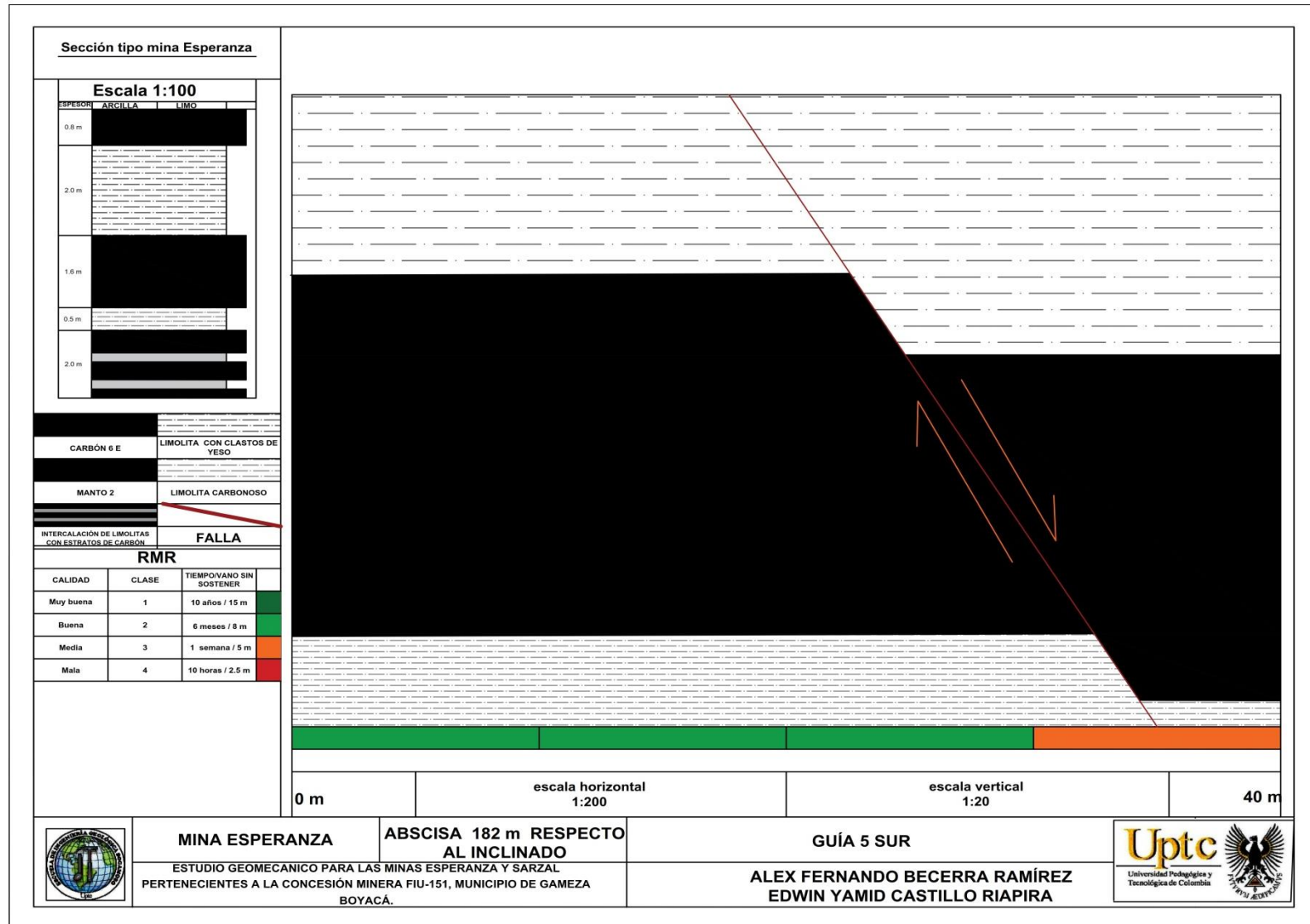
Fallamiento ,calidad media del macizo (Autores del proyecto)

Figura 38. Guía 3 sur, mina esperanza



(Autores del proyecto)

Figura 39. Guía 5 sur, mina esperanza



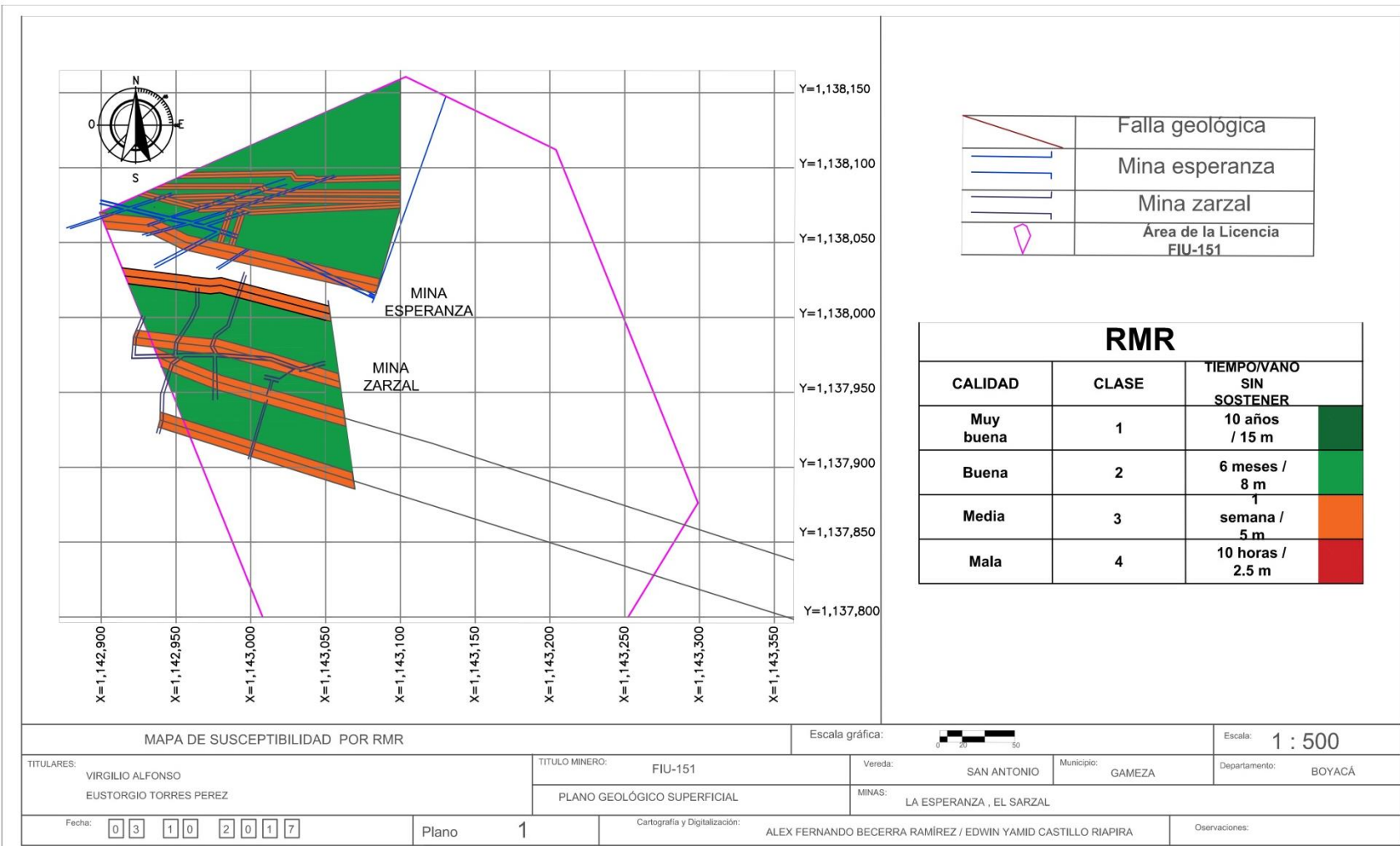
Fallamiento , calidad del macizo rocoso (Autores del proyecto)

Análisis de los resultados

Como se observó en cada uno de los modelos geológicos-geotécnicos las litologías presentan una continuidad horizontal la cual se pierde por diferentes fallas que aparecen en las labores mineras de cada mina, pero esta continuidad se reencuentra al transcurrir unos metros.

De acuerdo a la toma de datos realizada cada 10m, determina que el macizo geológico de la concesión FIU-151, en la mina esperanza y mina zarzal presenta una calidad buena, pero que cerca de las fallas esta calidad disminuye a media o regular. Con este insumo se determinó realizar un mapa de susceptibilidad para la clasificación RMR, escala 1:500, donde a las fallas se le da una posible zona de afectación de 5m a cada lado de esta, así se determina que estas zonas son mínimas y concuerdan con el trabajo realizado en el análisis estereográfico.

Ilustración 10. Clasificación RMR concesión fiu-151



(Autores del proyecto)

Capítulo 5

Espaciado óptimo entre sostenimiento

Generalidades

El sostenimiento de minas es una construcción artificial la cual se realiza en los trabajos o excavaciones subterráneas para prevenir el colapso de las rocas circundantes y preservar las dimensiones de las distintas galerías. El sostenimiento de minas, como una obra más de ingeniería, debe satisfacer una serie de requerimientos técnicos, productivos y económicos. Es decir el entibado debe ser sencillo, fuerte, económico, y eficaz.

Requerimientos mínimos de sostenimiento.

Todo sostenimiento en minería debe cumplir con un mínimo de requerimientos, los cuales hacen

Requerimientos técnicos.

Un sostenimiento debe cumplir con las siguientes características:

- Ser lo suficientemente resistente
- Prestar condiciones de estabilidad
- Tener una vida útil duradera

Requerimientos de producción.

La resistencia al paso del aire debe ser la mínima posible. El espacio que debe ocupar en las galerías o zonas de excavación debe ser el menor posible. Debe prestar condiciones de seguridad ante cualquier peligro de incendio, a los procesos productivos debe prestarle un servicio de seguridad y comodidad para los mismos.

Materiales de sostenimiento.

Para la construcción de sostenimiento en minería se debe tener en cuenta las condiciones del sitio donde se va a trabajar (carga variable con el tiempo, acción de la atmósfera minera, agua subterránea, limitación de espacio, estado del techo, entre otros.), por eso en lo posible se emplean materiales lo más ligeros posible, y que generen no tanto trabajo a la hora de instalar el mismo; los materiales que se empleen deben poseer alta resistencia, que su costo sea exequible y no tan elevado y lo más importante que presten condiciones de estabilidad y durabilidad en el tiempo de servicio.

Madera en la minería de carbón.

La mayor parte de maderas para la minería la consume la minería subterránea del carbón en cualquiera de los métodos tradicionales de explotación. En Colombia se consumen en forma descendente: eucalipto, anacáo, pino, abarco, roble y otros tipos de árboles propios de las zonas mineras. (jojoa, 2009)

Este consumo pertenece a la región carbonífera central de Colombia comprendida principalmente por: Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander, Risaralda etc. Siendo las principales zonas que explotan bajo tierra. En la minería metálica generalmente se emplean maderas solo para las vías de acceso.

Sostenimiento actual en las minas Esperanza y Zarzal

El sostenimiento actual implementado en las minas del estudio se da dependiendo de la ubicación y del trabajo que en ella se esté realizando: machón de protección como medida de seguridad, enmallado de tacos de madera para los frentes de explotación y sostenimiento trapezoidal para guías e inclinado como se muestra en las siguientes figuras.

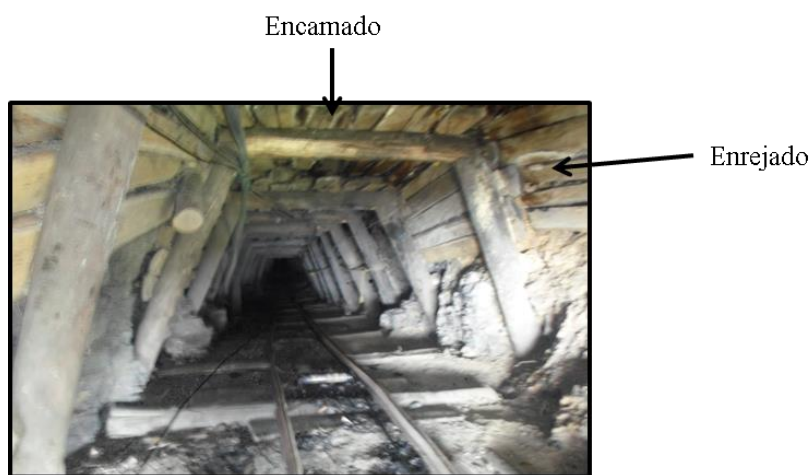
Sostenimiento trapezoidal en minas esperanza y zarzal

En las minas del presente estudio, el sostenimiento adoptado es en forma trapezoidal fortificado en la parte superior por encamado y en los lados por un enrejado, que no permite la caída de material.

Ilustración 11. Sostenimiento trapezoidal minas del estudio



Imagen 21. Sostenimiento minas del estudio



Las dimensiones adoptadas en las minas para este sistema trapezoidal de sostenimiento son:

Cabezal = 1.40m – 1.55m

Postes laterales = 1.50m – 2.10m

Imagen 22. Sostenimiento - disposición trapezoidal del sostenimiento en las minas



Madera implementada en las minas zarzal y esperanza

La madera implementada en el actual sostenimiento de las minas Zarzal y Esperanza es *eucalipto* ya que esta es la madera local, aprovechada para el trabajo de sostenimiento y fortificación en las labores mineras.

Presenta una alta densidad y su fácil desarrollo en las montañas hace que sea una de las principales maderas empleadas en el sostenimiento actual de las minas; tiene grandes valores de resistencia tanto en esfuerzo de pandeo como compresión y tracción. Los valores de resistencia que a continuación se dan, corresponden al eucalipto procedente de Boyacá.

Tabla 27. Esfuerzos permisibles del eucalipto

Compresión		100 a 170 kg/cm²
Aplastamiento		70 a 130 kg/cm ²
Flexión		90 a 150 kg/cm ²
Cortante		30 a 70 kg/cm ²
Pandeo		70 a 140 kg/cm ²

Sostenimiento de minas – la entibación, (jojoa, 2009, pág. 12)

Calculo espesor óptimo entre sostenimientos

Para hallar el espesor óptimo entre sostenimientos es necesario el desarrollo en dos pasos:

- Hallar carga que soporta el techo
- Hallar el valor de (a), espesor óptimo entre sostenimiento. *Cap. 1 Información general – metodología- metodología espaciado óptimo de sostenimiento .Ilustración 5.*

Calculo carga en el techo

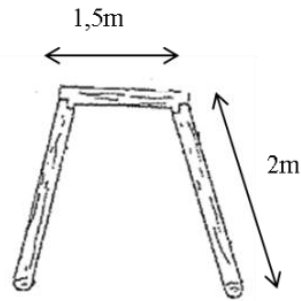
El cálculo de la distancia entre marcos se hace, para un elemento central (recordar que la carga representa una distribución parabólica y por el centro es mayor). Sobre este elemento central va a actuar carga uniformemente distribuida (Pt) , es decir este cálculo se hace como el de una viga que descansa sobre dos apoyos y va a soportar una carga uniformemente distribuida, este cálculo se realiza por la expresión.

$$Pt = h * (\gamma l)$$

Ejemplo de aplicación

Se tiene un sistema trapezoidal en una guía de la mina zarzal de las siguientes dimensiones y con los siguientes datos:

Figura 42. Dimensiones marcos de madera



Datos

γ = Densidad material de techo

γ mina zarzal = 2345 kg/m³

f = 0,001 % de la resistencia a compresión simple, roca de techo de las labores

Resistencia compresión simple = 1121 kg/ m³

$$h = \frac{l}{f}$$

$$Pt = 0,066 * 1835.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$l = \frac{1,5}{2} = 0,75\text{m}$$

$$Pt = 121,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$h = \frac{0,75}{\frac{1121}{100}}$$

$$h = 0,066$$

$$\gamma l = 2447 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,75\text{m}$$

$$\gamma l = 1835.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Pt = h * (\gamma l)$$

Conociendo el valor de Pt ahora se puede hallar el espesor optimo del sostenimiento

Calculo espaciado

$$a = K * L (Pt * \frac{n}{\sigma_{sf}})^{1/2}$$

Donde

K = Coeficiente que tiene en cuenta la forma de los elementos del sostenimiento, madera redonda k=1

n = coeficiente de sobrecarga, habitualmente se toma 1,2

σsf = Resistencia a la flexión de la madera (Ver tabla 27)

L = Distancia entre marcos

Figura 43.Ejemplo espesor óptimo de sostenimiento

Parámetro	valor
K	1
L	1.5 m
Pt	121,14 kg/m³
σsf	120 kg/cm²
n	1,2
a	1,65m

Resultados.

El anterior ejemplo se ha realizado para las dos minas y todas las guías de estas. Anexo ()

En la siguiente tabla se consigna los resultados obtenidos.

Figura 44. Resultados espesor óptimo entre sostenimientos.

Mina	Ubicación	Espaciado entre sostenimiento
Zarzal	Inclinado	1,44
	Guía 1 norte	1,41
	Guía 2 norte	1,39
	Guía 1 sur	1,20
	Guía 2 sur	1,31
Esperanza	Inclinado	1,61
	Guía 1 norte	1,56
	Guía 2 norte	1,20
	Guía 3 norte	1,33
	Guía 4 norte	1,25
	Guía 1 sur	1,54
	Guía 2 sur	1,25
	Guía 3 sur	1,20
	Guía 5 sur	1,61

Interpretación.

Los elementos de fortificación de madera habitualmente tienen forma circular con diámetros variables que pueden ir de 15 hasta 30 cm. Las puertas (cabezales, postes laterales) de fortificación generalmente

son colocadas a una cierta distancia unos de otros (fortificación espaciada). Esta distancia entre cuadros según datos recogidos en campo oscila entre 0.8 y 1.80 m; la cual depende de esfuerzos locales, cuando los empujes son muy fuertes se deben con un menor espaciado (la distancia es entonces del orden de 0.8 m; en el caso más favorable, no se debe sobrepasar nunca de 1.80 m). Cuando se emplea esta fortificación espaciada, por lo general, el techo y las partes superiores de los lados, se encaman, es decir, se revisten con tablas, después se rellenan con pedazos de roca, los espacios que queden entre la roca y el encamado, lo cual, garantiza una distribución más uniforme de la presión minera y por ende un mejor trabajo de la fortificación.

Capítulo 6

Recomendaciones

- ❖ En los sectores de falla en guías, donde la calidad del macizo rocoso es media, se recomienda fortificar el sostenimiento en su techo, es decir realizar encamado que permita prevenir cualquier accidente ante la caída de roca circundante de techo.
- ❖ En las etapas siguientes de explotación y exploración seguir con el trabajo de detalle en cuanto a la geología, esto permite tener insumos de importancia ante nuevos estudios realizados
- ❖ Realizar un estudio estratigráfico detallado que permita definir exactamente la sección y mantos que son explotados de la formación Guaduas (Kpgg) en las minas del estudio.
- ❖ Un estudio de contornos estructurales permitiría dar enfoque a nuevas etapas de exploración y búsqueda de mantos en la concesión.
- ❖ Elaborar un documento de actualización permanente donde se establezcan las normas específicas sobre cuándo, dónde y que tipo de apoyo del techo se tienen que instalar en el desarrollo de las actividades subterráneas incluidas bocaminas, galerías y frentes.

Capítulo 7

Conclusiones

- ❖ El comportamiento geomecánico para las minas Esperanza y Zarzal de la concesión minera FIU-151 se da por su calidad, que en general es buena y destacando que en los lugares de fallamiento tiende a bajar y es media, de las rocas de techo y base que son en las que se realizan los trabajos de sostenimiento se concluye que poseen buena resistencia, muy baja filtración, son compactas, densas y por ende dictan que son aptas en el trabajo de sostenimiento para las minas.
- ❖ Las dos minas se han caracterizado litológicamente mediante modelos que expresan la disposición litológica y estructural en cada inclinado y guías de las minas, además se determinó una columna estratigráfica del macizo rocoso.
- ❖ Mediante la exploración a detalle geológica realizada en las minas, las condiciones físicas y texturales de cada litología cambiaban de manera negativa ante la presencia de agua.
- ❖ Se ha distinguido una serie de discontinuidades en las cuales sobresalen la presencia de dos familias de diaclasas, la primera y más predominante tiene su orientación al NW y buzamientos que varían desde los 10 grados hasta los 60 grados, la otra familia y menos constante tiene una orientación al NE y con buzamientos que varían entre 15 grados y 55 grados aproximadamente.
- ❖ Se obtuvieron parámetros físicos y mecánicos como resistencia, propiedades físicas, módulos dinámicos, índices de durabilidad, entre otros; mediante la realización de ensayos como propiedades físicas, compresión simple, velocidad sísmica, estos realizados a los testigos y muestras obtenidas de los bloques recolectados adentro de las minas.

- ❖ Se clasifico el macizo rocoso teniendo en cuenta los materiales de techo, medio y base de cada una de las minas mediante la metodología de Bieniaswki (1989), en general el macizo es clase II, de calidad buena.
- ❖ Se ha utilizado la metodología de Protodyakonov para hallar la carga en el techo de las labores mineras y por ende se obtuvo el valor del espaciamiento entre sostenimientos.

Capítulo 8

Referencias

Alvarado & Sarmiento, R Informe Geológico sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz del Río, Departamento de Boyacá. Serv. Geol. Nal., Informe 468. Bogotá, 1944.

Abril Nebardo, Mecánica de Suelos. Notas de Clase. UPTC, 2008

Beatriz Lapresta, Form clas RMR,

Bieniawski, Z, T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and sons, Inc.

Cemal Biron & Erginarioglu, Diseño de ademes en minas, 1982

Ecocarbón & ingeominas, Programa Normalización de Recursos y Reservas de carbón (departamento de Boyacá) Áreas Carboníferas Checua Lenguaque, Suesca Albarracín, Tunja Paipa Duitama, 1999

González de vallejo, L. I., Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Educación S.A. (Prentice Hall). España, 1997.

Hudson, J. A. Rock mechanics princes in engineering practice. Butterworths. Ciria. London,

Jaime William Jojoa Muñoz, Modulo Sostenimiento en minas- modulo entibación, 2009

Reyes Italo. 1984. Geología de la región de Duitama, Sogamoso – Paz del Rio (Departamento de Boyacá). Biblioteca UPTC. Sogamoso

Sarmiento. G. 1994. Estratigrafía, palinología y paleoecología de la formación Guaduas (Maastrichtiano – Paleoceno) Colombia. Ingeominas, Publ. Geol. Esp., (20) 192 p. Bogotá.

ULLOA C.E.; Rodriguez E; Fuquen J; Acosta J.E., 2001. Geología de la plancha 192. INGEOMINAS. Memoria explicativa, Bogotá.

Anexos

Anexos A. Anexos geológicos

A.1 Mapa De Geología Local

A.2 Columna Estratigráfica Concesión FIU-151

A.3 Mapa De Fallas Subterráneas

A.4 Registro Geológico

A.4.1. Registro Geológico Local

A.4.2 Registró Geológico Mina Zarzal

A.4.3 Registro Geológico Mina Esperanza

A.4.4 Registro Geológico Bocaviento

A.4.5 Registro Geológico Chimenea Mina Zarzal

Anexos B. Anexos geotécnicos

B.1 Ensayos de laboratorio

B.1.1 Ensayo de propiedades físicas

B.1.2 Ensayo durabilidad y desleimiento

B.1.3 Ensayo Compresión simple

B.1.4 Velocidad sónica

B.2 Análisis estereográfico software DIPS